



**SKRIPSI - TK141581**

**EKSTRAKSI MINYAK DAN NUTRISI DARI AMPAS  
KELAPA SAWIT DENGAN KARBONDIOKSIDA  
SUPERKRITIS**

**Oleh:**

**Dimas Wisnudianto  
NRP. 2311100191**

**Ragasatya Safrianda  
NRP. 2311100204**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng  
NIP. 195209161980031002**

**Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng  
NIP. 197305121999032001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**FINAL PROJECT - TK141581**

**EXTRACTION OF OIL AND NUTRIENTS FROM  
PALM-PRESSED FIBER WITH SUPERCRITICAL  
CARBON DIOXIDE**

**Creator:**

**Dimas Wisnudianto**

**NRP. 2311100191**

**Ragasatya Safrianda**

**NRP. 2311100204**

**Advisor**

**Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M. Eng**

**NIP. 195209161980031002**

**Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng**

**NIP. 197605121999032001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE of TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### EKSTRAKSI MINYAK DAN NUTRISI DARI AMPAS KELAPA SAWIT DENGAN KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1  
Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

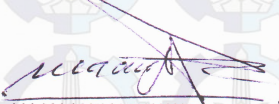
Oleh:

**DIMAS WISNUDIANTO**  
**RAGASATYA SAFRIANDA**

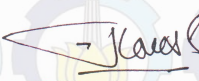
**2311100191**  
**2311100204**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng  
(Pembimbing I)
2. Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng  
(Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Heru Setyawan, M.Eng  
(Penguji I)
4. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng  
(Penguji II)
5. Dr. Widiyastuti, S.T., M.T  
(Penguji III)

  
.....

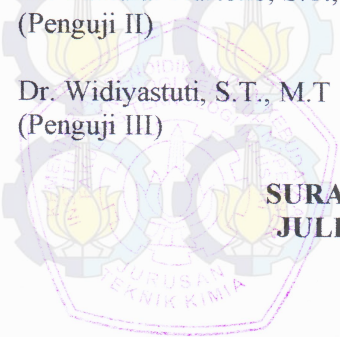
  
.....

  
.....

  
.....

  
.....

**SURABAYA**  
**JULI, 2015**



## **EKSTRAKSI MINYAK DAN NUTRISI DARI AMPAS KELAPA SAWIT DENGAN KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS**

**Nama Mahasiswa** : Dimas Wisnudianto (2311100191)  
Ragasatya Safrianda (2311100204)  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng  
Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengekstrak minyak dan nutrisi ( $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol) dari ampas kelapa sawit dengan karbondioksida superkritis, menghitung *yield* minyak yang terekstrak serta kelarutan minyak dalam CO<sub>2</sub> superkritis, dan mengamati pengaruh kondisi operasi ekstraksi ampas kelapa sawit menggunakan CO<sub>2</sub> superkritis terhadap *yield* ekstrak, kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol. Ekstraksi dilakukan dengan kondisi operasi yang bervariasi yaitu tekanan 20 ; 30 ; 40 MPa, temperatur 40 ; 60 ; 80 °C, dan flow rate CO<sub>2</sub> 3 ; 3,5 ; 4 ml/menit dengan waktu ekstraksi selama enam jam. Untuk mengetahui kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol, ekstrak yang didapat dianalisa menggunakan Spektrofotometer UV – Vis dan *High Performance Liquid Chromatograph*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *yield* minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol cenderung meningkat seiring dengan kenaikan tekanan dan temperatur operasi. Sedangkan kenaikan flow rate CO<sub>2</sub> tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* minyak,  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol. *Yield* minyak yang dapat terekstrak sekitar 0,026 – 0,064 gr/gr sampel. Untuk solubilitas minyak dalam CO<sub>2</sub> superkritis sekitar 0,001 – 0,023 g/L CO<sub>2</sub> yang dikorelasikan dengan persamaan Chrastil dan diperoleh konstanta Chrastil k, a, dan b yaitu sebesar 10,62; -6101,28; -57,52.

**Kata kunci** : *Ekstraksi, Karbondioksida, Superkritis,  $\alpha$ -Tokoferol,  $\beta$ -Karoten.*



***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# EXTRACTION OF OIL AND NUTRIENTS FROM PALM-PRESSED FIBER WITH SUPERCRITICAL CARBONDIOXIDE

**Name of Student** : Dimas Wisnudianto (2311100191)  
Ragasatya Safrianda (2311100204)  
**Advisor** : Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng  
Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng

## ABSTRACT

*The aim of this research was to extract of oil and nutrients ( $\beta$ -carotene dan  $\alpha$ -tocopherol) from palm-pressed fiber with supercritical carbon dioxide, to calculate yield of the extract and oil solubility in supercritical CO<sub>2</sub>, and to observe the effect of operating conditions to the extraction of palm-pressed fiber with supercritical CO<sub>2</sub> towards yield of extract, the content of  $\beta$ -carotene dan  $\alpha$ -tocopherol. The extraction were carried out by various operating conditions. The pressure are ; 30 ; 40 Mpa, the temperature are 40 ; 60 ; 80 °C, and flow rate of CO<sub>2</sub> are 3 ; 3,5 ; 4 ml/minute. The extraction was taken for six hours. Spectrofotometer UV – Vis and High Performance Liquid Chromatograph was used to determine the content of  $\beta$ -carotene dan  $\alpha$ -tocopherol. The result showed that the yield of oil,  $\beta$ -carotene, and  $\alpha$ -tocopherol tends to increase in accordance with increasing operating pressure and temperature. While the increase in the flow rate of CO<sub>2</sub> does not have a significant effect on the yield of oil,  $\beta$ -carotene, and  $\alpha$ -tocopherol. The yield of oil which can be extracted approximately 0,026 to 0,064 gr/gr sample. For the solubility of oil in supercritical CO<sub>2</sub> approximately 0,001 to 0,023 g/L CO<sub>2</sub> and obtained chrastil constant k, a, and b is 10,62; -6101,28; -57,52.*

**Keywords** : Carbon dioxide, Extraction, Supercritical,  $\alpha$ -Tokoferol,  $\beta$ -Karoten.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Ekstraksi Minyak dan Nutrisi dari Ampas Kelapa Sawit dengan Karbondioksida Superkritis”** dengan sebaik-baiknya sebagai salah satu tugas akhir di Teknik Kimia ITS.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Teknik Kimia ITS, namun demikian penulis berharap skripsi ini tak hanya sebagai pemenuh kewajiban tapi lebih dari itu akan bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi yang membaca terlebih pada bidang keteknikkimiaan dan aplikasinya dalam bidang industri.

Penulisan skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari banyak pihak yang sangat berarti bagi penulis. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran, atas bimbingan dan motivasi yang telah diberikan.
2. Dr. Siti Machmudah, S.T., M. Eng, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
3. Dr. Tantular Nurtono, S.T., M.Eng, Dr. Widiyastuti, S.T., M.T., Dr. Kusdianto, ST., M.Sc. Eng selaku Dosen Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran.
4. Seluruh dosen Teknik Kimia ITS atas semua ilmu serta bimbingan selama kami menempuh pendidikan.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan kasih sayang tulus, motivasi, bimbingan, dan doa.
6. Teman – teman di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi.

7. Teman - teman K-51 Teknik Kimia ITS yang selalu memberi semangat dan dukungan.
8. Bang Farid selaku laboran di Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran yang banyak membantu dalam melakukan eksperimen.
9. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan penulis satu persatu yang telah membantu selama penulisan laporan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis.

Akhir kata kami selaku penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK (INDONESIA)</b>	i
<b>ABSTRACT (ENGLISH)</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah/Hipotesa	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
II.1 Kelapa Sawit	5
II.2 Kandungan Minyak Kelapa Sawit	5
II.3 Ekstraksi Pelarut	8
II.4 Ekstraksi Fluida Superkritis	11
II.5 Fluida Superkritis	12
II.6 Karbondioksida Superkritis	15
II.7 Spektrofotometer UV-Vis	17
II.8 Persamaan Chrastil	18
II.9 Penelitian Terdahulu	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	23
III.1 Garis Besar dan Variabel Penelitian	23
III.2 Bahan dan Alat	23
III.3 Prosedur Percobaan	26
III.4 Penentuan Solubilitas	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	33
IV.1 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Ekstraksi	37
IV.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Proses Ekstraksi	41

IV.3 Pengaruh <i>Flow Rate</i> CO <sub>2</sub> Terhadap Proses Ekstraksi..	45
IV.4 Solubilitas Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol dalam Karbondioksida Superkritis .....	50
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	57
V.1 Kesimpulan .....	57
V.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xvii
<b>APPENDIKS</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II.1</b>	Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa Sawit ..... 5
<b>Tabel II.2</b>	Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Kelapa Sawit ..... 6
<b>Tabel II.3</b>	Komposisi Karotenoid dalam Minyak Kelapa Sawit ..... 7
<b>Tabel II.4</b>	Komposisi Tokoferol dalam Minyak Kelapa Sawit ..... 7
<b>Tabel II.5</b>	Properti Fisika dari Gas, Liquid, Fluida Superkritis .....12
<b>Tabel II.6</b>	Kondisi Kritis dari Beberapa Pelarut .....13
<b>Tabel IV.1</b>	Solubilitas Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol Dalam CO <sub>2</sub> Superkritis .....52
<b>Tabel IV.2</b>	Harga Konstanta $k$ , $a$ , dan $b$ dari Perhitungan Solubilitas dengan Persamaan Chrastil.....54



***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II.1</b>	Skema Ekstraksi Soklet .....	9
<b>Gambar II.2</b>	Diagram Fase CO <sub>2</sub> .....	10
<b>Gambar II.3</b>	Viskositas CO <sub>2</sub> pada Beberapa Temperatur dan Tekanan .....	15
<b>Gambar II.4</b>	Diffusivitas vs Temperatur pada Beberapa Tekanan .....	16
<b>Gambar III.1</b>	Skema Peralatan Ekstraksi Secara <i>Semi-Batch</i> dengan CO <sub>2</sub> Superkritis .....	27
<b>Gambar III.2</b>	Kurva Kalibrasi Larutan Standart .....	29
<b>Gambar IV.1</b>	Kromatogram HPLC $\beta$ -Karoten dan $\alpha$ -Tokoferol .....	36
<b>Gambar IV.2</b>	Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Yield Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol pada Kondisi Operasi : T = 60°C dan CO <sub>2</sub> <i>Flow Rate</i> = 3 ml/min .....	38
<b>Gambar IV.3</b>	Pengaruh Temperatur Operasi Terhadap Yield Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol pada Kondisi Operasi : P = 30 MPa dan CO <sub>2</sub> <i>Flow Rate</i> = 3 ml/min .....	42
<b>Gambar IV.4</b>	Pengaruh <i>Flow Rate</i> CO <sub>2</sub> Terhadap Yield Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol pada Kondisi Operasi : P = 30 MPa dan T = 80°C. ....	46
<b>Gambar IV.5</b>	Solubilitas Minyak, $\beta$ -Karoten dan $\alpha$ -Tokoferol dalam CO <sub>2</sub> Superkritis dengan Korelasi Menggunakan Persamaan Chrastil pada Kondisi Operasi : P = 20, 30, dan 40 MPa; T = 40, 60, dan 80°C; dan CO <sub>2</sub> <i>Flow Rate</i> Konstan = 3 ml/menit .....	51

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
P	Tekanan	MPa
T	Temperatur	°C
Flow	Laju alir CO <sub>2</sub>	ml/menit
C $\beta$ -karoten	Konsentrasi $\beta$ -karoten	ppm
C $\alpha$ -tokoferol	Konsentrasi $\alpha$ -tokoferol	ppm
$\lambda$	Panjang gelombang	nm
$\rho$	Densitas CO <sub>2</sub>	gr/ml
c	Solubilitas minyak	gr/L
c $\beta$ -karoten	Solubilitas karoten	mg/L
c $\alpha$ -tokoferol	Solubilitas tokoferol	mg/L
k , a ,b	Konstanta Chrastil	

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*) merupakan tanaman yang berasal dari Afrika Barat, terutama di daerah sekitar Angola sampai Senegal. Kelapa sawit menjadi tumbuhan industri penghasil minyak nabati yang bisa dimanfaatkan sebagai minyak masak, minyak industri, dan bahan bakar (biodiesel). Di Indonesia, perkebunan kelapa sawit tersebar di daerah Aceh, pantai timur Sumatera, Jawa Barat, Kalimantan, dan Sulawesi. Indonesia menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia dengan produksi pada tahun 2014 mencapai 33,5 juta metric ton atau sekitar 51% dari total produksi minyak sawit dunia (USDA, 2014).

Buah kelapa sawit merupakan buah yang kaya dengan minyak yang bisa menghasilkan dua jenis minyak dari buah yang sama, yaitu *crude palm oil* (CPO) yang berasal dari daging buah sawit dan *palm kernel oil* (PKO) yang berasal dari inti sawit. CPO dan PKO dapat diproses lebih lanjut menjadi berbagai macam produk, baik produk pangan (minyak goreng, margarin, dll) maupun produk non-pangan (biodiesel, oleokimia, produk farmasi, dll) (Hariyadi, 2014). Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang mengolah buah kelapa sawit menjadi produk utama berupa CPO atau PKO akan menghasilkan produk samping (limbah) berbentuk padatan, gas, dan cair. Limbah padat yang keluar dari PKS meliputi tandan kosong, abu boiler, serabut (*fiber*), dan cangkang. Ampas kelapa sawit merupakan daging buah sawit (*palm mesocarp*) yang telah diekstrak minyaknya melalui proses pengepresan, sehingga akan dihasilkan serabut (*fiber*) dengan kandungan minyak yang rendah. Kandungan minyak yang tersisa di ampas kelapa sawit sekitar 5 – 7% (Lau dkk, 2007). Pada umumnya di pabrik – pabrik kelapa sawit, ampas kelapa sawit yang telah melalui proses pengeringan lebih lanjut dapat

dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler penghasil *steam* (Deptan, 2006).

Fitokimia (fitonutrien) adalah senyawa kimia yang ditemukan pada tumbuhan yang tidak dibutuhkan untuk fungsi normal tubuh, tapi memiliki efek yang menguntungkan bagi kesehatan atau memiliki peran aktif bagi pencegahan penyakit. Senyawa - senyawa kimia bukanlah suatu kebutuhan bagi metabolisme normal dan ketiadaan zat - zat ini tidak akan mengakibatkan penyakit. Sisa minyak dari ampas kelapa sawit banyak mengandung senyawa – senyawa kimia seperti karoten, vitamin E, sterol, squalene, dan komponen – komponen phenolic. Zat – zat tersebut merupakan zat aktif yang dapat memberi dampak positif terhadap kesehatan manusia, seperti karoten dan vitamin E (tocopherol dan tocotrienol) sebagai antioksidan dan penghambat pertumbuhan sel kanker,  $\beta$ -sitosterol dapat menurunkan kolesterol, dan squalene sebagai zat kimia pencegah beberapa macam kanker (Lau dkk, 2007).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengambil sisa minyak dari ampas kelapa sawit dengan metode ekstraksi menggunakan pelarut organik maupun dengan ekstraksi fluida superkritis. Ekstraksi dengan CO<sub>2</sub> superkritis (SC-CO<sub>2</sub>) memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode ekstraksi pelarut karena CO<sub>2</sub> bersifat tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini digunakan metode ekstraksi CO<sub>2</sub> superkritis untuk memperoleh sisa minyak dari ampas kelapa sawit dan menganalisa senyawa – senyawa fitokimia yang terkandung di sisa minyak tersebut.

## **I.2 Rumusan Masalah/Hipotesa**

Pada proses ekstraksi ampas kelapa sawit menggunakan CO<sub>2</sub> superkritis akan menghasilkan ekstrak berupa minyak. Ekstrak yang dihasilkan memiliki kandungan minyak dan nutrisi yang akan dianalisa. Kandungan nutrisi yang akan dianalisa adalah  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol. Kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, laju alir solvent, dan waktu ekstraksi

menjadi faktor penting untuk mendapatkan ekstrak secara optimal. Maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kondisi operasi pada proses ekstraksi terhadap yield minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol, serta kelarutan minyak dalam karbondioksida superkritis.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian dari penelitian ekstraksi ampas kelapa sawit yaitu :

1. Mengekstrak minyak dan nutrisi ( $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol) dari ampas kelapa sawit dengan karbondioksida superkritis.
2. Menghitung yield minyak yang terekstrak dan kelarutan minyak dalam CO<sub>2</sub> superkritis.
3. Mengamati pengaruh kondisi operasi ekstraksi ampas kelapa sawit menggunakan CO<sub>2</sub> superkritis terhadap yield ekstrak, yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ekstraksi ampas kelapa sawit yaitu:

1. Ekstraksi ampas kelapa sawit yang dihasilkan mempunyai kandungan nutrisi yang dapat dimanfaatkan untuk nutrisi dalam tubuh.
2. Memberikan informasi mengenai alternatif proses ekstraksi ampas kelapa sawit dengan menggunakan CO<sub>2</sub> superkritis sebagai bahan referensi dan informasi bagi penulis selanjutnya yang tertarik untuk mengkaji dan meneliti tentang kandungan minyak dan nutrisi ampas kelapa sawit.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Kelapa Sawit**

Buah kelapa sawit mempunyai warna bervariasi mulai dari hitam, ungu, hingga merah tergantung pada varietas tanamannya. Buah bergerombol dalam tandan yang muncul dari setiap ketiak pelepah daun. Dalam satu tandan, umumnya terdapat sekitar 2.000 buah sawit dengan tingkat kematangan yang bervariasi. Tandan yang dianggap matang atau layak panen adalah tandan yang telah berwarna merah jingga. Warna tersebut timbul karena meningkatnya kandungan karoten (pigmen warna merah alami) yang berada di bagian kulit buah sawit yang matang.

Buah kelapa sawit terdiri dari 4 bagian penting yang diantaranya adalah:

- Eksoskarp : bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin
- Mesoskarp : serabut buah yang mengandung banyak minyak
- Endoskarp: cangkang pelindung inti
- Inti sawit (kernel) : sebetulnya adalah biji yang merupakan bagian dalam perbanyakan generatif tanaman.

Inti sawit terbagi menjadi dua komponen, yakni: (1) Endosperm, merupakan jaringan cadangan makanan yang mengandung karbohidrat, lemak, dan protein difungsikan untuk mensuplai kebutuhan nutrisi dalam pertumbuhan embrio dan kecambah muda. (2) Embrio, merupakan suatu tumbuhan kecil (*miniatur plant*) yang merupakan cikal bakal dari individu sawit baru.

#### **II.2. Kandungan Minyak Kelapa Sawit**

Minyak kelapa sawit diperoleh dari pengolahan buah kelapa sawit. Minyak kelapa sawit sama seperti pada umumnya minyak nabati lainnya adalah merupakan senyawa yang tidak

larut dalam air, sedangkan komponen penyusunnya adalah trigliserida dan nontrigliserida (nutrisi).

### II.2.1 Trigliserida Pada Minyak Kelapa Sawit

Minyak kelapa sawit terdiri dari trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak. Semakin tidak jenuh asam lemak dalam molekul trigliserida maka makin rendah titik cair minyak tersebut sehingga pada suhu kamar berada pada fase cair. Minyak kelapa sawit adalah lemak semi padat yang mempunyai komposisi yang tetap (Nurhida, 2004).

*Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas sangat mempengaruhi mutu dari minyak kelapa sawit. FFA terbentuk akibat adanya air yang akan bereaksi dengan minyak (trigliserida). Apabila kandungan FFA tinggi maka akan menurunkan rendemen minyak pada buah kelapa sawit (Adhi, 2013).

Komposisi trigliserida dan komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit berturut – turut dapat dilihat pada Tabel II.1 dan Tabel II.2.

**Tabel II.1** Komposisi Trigliserida dalam Minyak Kelapa Sawit

<b>Trigliserida</b>	<b>Jumlah (%)</b>
Tripalmitin	3 - 5
Dipalmito – Stearin	1 - 3
Oleo – Miristopalmitin	0 – 5
Oleo – Dipalmitin	21 – 43
Oleo – Palmitostearin	10 – 11
Palmito – Diolein	32 – 48
Stearo – Diolein	0 – 6
Linoleo – Diolein	3 – 12

Sumber : Ketaren, S. 1986

**Tabel II.2** Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Kelapa Sawit

<b>Asam Lemak</b>	<b>Jumlah (%)</b>
Asam Kaprilat	-
Asam Kaproat	-
Asam Miristat	1,1 – 2,5
Asam Palmitat	40 – 46
Asam Stearat	3,6 – 4,7
Asam Oleat	30 – 45
Asam Laurat	-
Asam Linoleat	7 – 11

Sumber : Ketaren, S. 1986

### **II.2.2 Nutrisi Pada Minyak Kelapa Sawit**

Selain trigliserida minyak kelapa sawit juga mengandung senyawa nontrigleserida yaitu nutrisi. Nutrisi terdiri dari senyawa-senyawa kimia seperti karotenoid, vitamin E (tokotrienol dan tokoferol), sterol, fosfolipid, glikolipid, terpenoid dan hidrokarbon alifatik serta pengotor lainnya. Dari beberapa senyawa kimia yang ada, karotenoid dan vitamin E memiliki manfaat yang baik bagi kesehatan. Kadar karotenoid yang ada dalam buah sawit yaitu 500-700 ppm (500mg/2 kg buah sawit) (Wei, 2005).

Selain karotenoid, minyak sawit juga memiliki kandungan vitamin E yang terdiri dari tokoferol sebesar 60 – 70 %. Kadar tokoferol cukup tinggi yaitu 500-800 ppm (600mg/ 2 kg buah kelapa sawit). Tokoferol memiliki beberapa bentuk isomer yaitu  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, dan  $\delta$ -tokoferol. Aktivitas terbesar dimiliki oleh komponen  $\alpha$ -tokoferol. Tabel II.3 dan II.4 berturut – turut menunjukkan komposisi karotenoid dan tokoferol dalam minyak kelapa sawit.

**Tabel II.3** Komposisi Karotenoid dalam Minyak Kelapa Sawit

<b>Tippe Karotenoid</b>	<b>%</b>
Phytoene	1.27
Cis- $\beta$ -Carotene	0.68
Phytofluene	0.06
$\beta$ -Carotene	56.02
$\alpha$ -Carotene	35.16
Cis- $\alpha$ -Carotene	2.49
$\zeta$ -Carotene	0.69
$\gamma$ -Carotene	0.33
$\delta$ -Carotene	0.83
Neurosporene	0.29
$\beta$ -Zeacarotene	0.74
$\alpha$ -Zeacarotene	0.23
Lycopene	1.3

Sumber: Wei. 2005

**Tabel II.4** Komposisi Tokoferol dalam Minyak Kelapa Sawit

Tokoferol	Jumlah (%)	ppm
$\alpha$ – tokoferol	35	500 - 800
$\gamma$ – tokoferol	35	
$\delta$ – tokoferol	10	
$\zeta$ – tokoferol	20	

Sumber : Nurhida. 2004

### II.3 Ekstraksi Pelarut

Untuk memisahkan satu atau lebih komponen dari dalam suatu campuran, campuran tersebut harus dikontakkan dengan fase lain. Ekstraksi merupakan proses pemisahan suatu zat atau beberapa dari suatu padatan atau cairan dengan bantuan pelarut. Pemisahan terjadi atas dasar kemampuan melarut atau solubilitas yang berbeda dari setiap komponen. Ekstraksi bisa dilakukan dengan berbagai macam metode yang sesuai dengan sifat dan tujuan ekstraksi. Pada proses ekstraksi ini dapat digunakan

sampel dalam keadaan segar atau yang telah dikeringkan, tergantung pada sifat tumbuhan dan senyawa yang akan diisolasi. Untuk mengekstraksi senyawa utama yang terdapat dalam bahan tumbuhan dapat digunakan pelarut yang cocok.

### **II.3.1 Ekstraksi Liquid - Liquid**

Ekstraksi liquid – liquid adalah suatu proses untuk memisahkan komponen – komponen dalam suatu larutan berdasarkan distribusi komponen tersebut di antara dua fase liquid yang tidak saling melarut (*immiscible*) (Perry, 1997). Pemisahan zat - zat terlarut antara dua cairan yang tidak saling mencampur antara lain menggunakan alat corong pemisah. Pada ekstraksi liquid – liquid, dua fase tersebut sedikit berbeda secara sifat kimianya, yang menyebabkan terjadi proses pemisahan dari komponen – komponen berdasarkan properti fisik dan kimianya (Geankoplis, 2003).

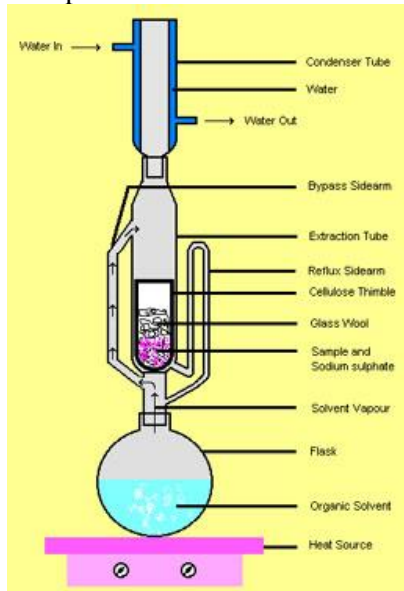
Ekstraksi liquid – liquid kadang bisa digunakan sebagai alternatif proses pemisahan dari distilasi atau evaporasi. Sebagai contoh, asam asetat bisa dipisahkan dari air dengan distilasi atau dengan ekstraksi liquid – liquid menggunakan pelarut organik. Lalu larutan campuran antara pelarut organik dan asam asetat didistilasi. Contoh lainnya, asam lemak dapat dipisahkan dari minyak nabati dengan ekstraksi menggunakan propana cair (Geankoplis, 2003).

### **II.3.2 Ekstraksi Solid – Liquid**

Ekstraksi solid – liquid atau biasa disebut *leaching*, adalah proses pemisahan yang digunakan untuk melarutkan komponen terlarut (*solute*) dari campurannya dengan solid/padatan tak larut (McCabe, 2005). Kebanyakan senyawa biologi, organik, dan anorganik terbentuk dalam campuran dari berbagai komponen dalam padatan. Untuk memisahkan *solute* (zat yang ingin diekstrak) yang diinginkan maupun *solute* yang tak diinginkan dari suatu solid, solid dikontakkan dengan fase liquid/cair. Kedua fase

tersebut akan mengalami kontak dan *solute* dapat berdifusi dari solid menuju fase liquid sehingga *solute* yang tadinya berada dalam solid dapat dipisahkan (Geankoplis, 2003).

Mekanisme pada proses *leaching*, pertama, pelarut (*solvent*) ditransfer menuju permukaan solid, kemudian *solvent* berdifusi atau masuk ke dalam solid melalui pori – pori solid tersebut. Lalu *solute* yang ada dalam pori solid berdifusi dengan *solvent*. Kemudian *solute* yang sudah terlarut dalam *solvent* berdifusi menuju permukaan partikel solid dan bercampur dengan larutan keseluruhannya. Proses *leaching* juga biasa dikenal dengan ekstraksi soklet karena alat skala laboratorium yang umumnya digunakan untuk proses *leaching* adalah soklet yang dilengkapi dengan pendingin balik (kondensor) sehingga terjadi proses ekstraksi secara berkesinambungan/kontinyu dengan jumlah pelarut yang relatif konstan (Rinawati, 2012). Skema ekstraksi soklet dapat dilihat pada Gambar II.1.

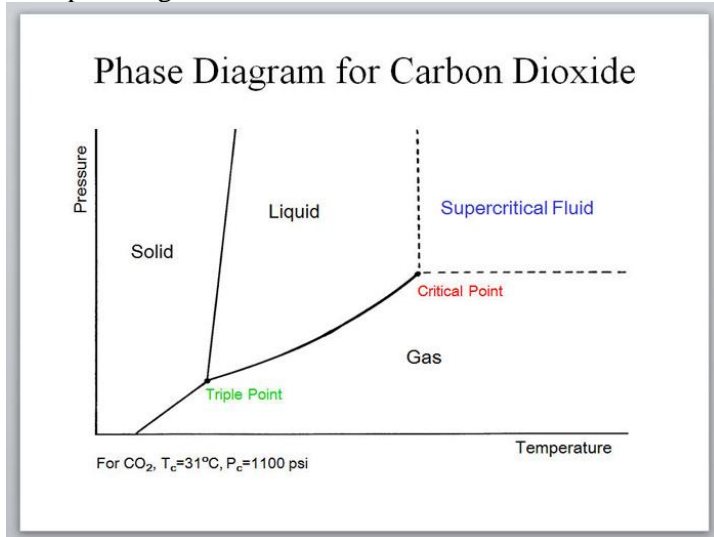


**Gambar II.1** Skema Ekstraksi Soklet

## II.4 Ekstraksi Fluida Superkritis

Ekstraksi fluida superkritis adalah suatu proses ekstraksi menggunakan fluida superkritis sebagai pelarut. Teknologi ekstraksi ini memanfaatkan kekuatan pelarut dan sifat fisik dari komponen murni atau campuran pada temperatur dan tekanan kritisnya dalam kesetimbangan fase (Palmer, 1995). Prinsip metode ekstraksi fluida superkritis adalah proses pemisahan komponen di atas tekanan kritis dan temperatur kritis suatu fluida pelarut.

Temperatur kritis merupakan temperatur tertinggi dimana gas dapat berubah fase menjadi liquid dengan kenaikan tekanan. Sedangkan tekanan kritis merupakan tekanan tertinggi dimana liquid dapat berubah fase menjadi gas dengan kenaikan temperatur liquid. Gambar II.2 menunjukkan daerah superkritis dari karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Titik kritis terletak pada akhir kurva penguapan, dimana fase liquid dan gas bergabung untuk membentuk fase fluida homogen tunggal dan daerah superkritis terletak pada bagian luar titik ini.



**Gambar II.2** Diagram Fase  $\text{CO}_2$

Penggunaan ekstraksi dengan fluida superkritis merupakan metode yang menarik, mengingat proses ekstraksi konvensional (pelarut liquid dan distilasi uap) memerlukan temperatur yang relatif tinggi, sehingga dapat merusak bahan. Metode ekstraksi konvensional akan meninggalkan sisa yang tidak diinginkan pada produk dan sulit untuk dipisahkan. Sistem operasi pemisahan untuk produk obat – obatan dan makanan sering dibatasi oleh penggunaan temperatur yang tinggi karena produk biasanya tidak tahan panas. Selain itu pelarut yang digunakan harus memenuhi syarat tidak merusak, tidak beracun, dan tidak meninggalkan sisa yang dapat mengotori produk.

Ekstraksi fluida superkritis memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

1. Meningkatkan hasil kelarutan dan memperbanyak *mass transfer*.
2. Kemudahan mengontrol *solubility*/kelarutan dengan mengatur tekanan dan temperatur.
3. Ekstraksi fluida superkritis mampu memisahkan lemak.
4. Pemisahan antara zat terlarut yang terekstrak dengan pelarutnya sangat mudah, sehingga pelarut dapat dengan mudah di-*recycle*.
5. Daya larut solvent tinggi karena bersifat seperti liquid.
6. Viskositas solvent rendah karena bersifat seperti gas, sehingga koefisien perpindahan massanya tinggi.
7. Pemisahan kembali solvent dari ekstrak cukup cepat dan sempurna karena pada keadaan normal solvent tersebut berupa gas, sehingga dengan penurunan tekanan, solvent secara otomatis akan terpisah keluar sebagai gas.

## **II.5 Fluida Superkritis**

Kondisi fluida superkritis terbentuk apabila kondisi fluida berada diatas temperatur dan tekanan kritisnya. Tidak seperti gas, fluida superkritis tidak dapat dikondensasikan menjadi keadaan liquid-gas dengan pengaturan tekanan.



Fluida superkritis memberikan range densitas yang besar, hal ini dapat digunakan untuk mengontrol solubilitas dari pelarut. Fluida superkritis dikarakterisasikan dengan densitas tinggi, viskositas rendah, dan difusivitas menengah antara gas dan cairan). Properti yang tidak biasa ini, justru menjadikan fluida superkritis sebagai pelarut yang ideal dan potensial. Properti fisika gas, cairan, dan fluida superkritis seperti terlihat pada Tabel II.5, dan kondisi kritis senyawa yang biasa digunakan sebagai fluida superkritis dapat terlihat pada Tabel II.6.

Berikut ini merupakan keuntungan dari fluida superkritis:

- Koefisien difusi tinggi dan viskositas rendah dibandingkan dengan liquid
- Recovery solven cepat dengan minimal residu dalam produk
- Tidak beracun
- Tidak menghasilkan kebakaran
- Secara komersial mudah di dapat dalam kemurnian tinggi
- Kompatibel dengan kondisi lingkungan karena tidak menghasilkan limbah

**Tabel II.5** Properti Fisika dari Gas, Liquid, dan Fluida Superkritis

Physical State	Density (g/ml)	Viscosity (g/cm.s)	Diffusivity (cm <sup>2</sup> /s)
Gas	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>
Liquid	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-6</sup>
Fluida Superkritis	0,2 – 0,9	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>

Sumber : Dvoyashkin

**Tabel II.6** Kondisi Kritis dari Beberapa Pelarut

Compounds	Tc (°C)	Pc (atm)	Density (g/ml)
Carbon Dioxide	31.3	72.9	0.448
Ammonia	132.4	112.5	0.235
Water	374.15	218.3	0.315
Nitrous Oxide	36.5	71.7	0.45
Methane	-82.1	45.8	0.2
Ethane	32.28	48.1	0.203
Ethylene	9.21	49.7	0.218
Methanol	240.5	78.9	0.272

Sumber : Dvoyashkin

### II.5.1 Solubilitas (Kelarutan)

Solubilitas gas dalam suatu solvent biasanya menurun dengan kenaikan temperatur. Namun pada temperatur tinggi, mendekati temperatur kritis dari solvent solubilitas dari gas umumnya naik sebanding dengan temperatur (Arie, 2014). Umumnya solubilitas dinyatakan dalam satuan fraksi mol atau konstanta Henry.

Kelarutan solute dalam solvent dipengaruhi oleh dua hal yaitu jarak antara molekul yang memungkinkan terjadinya interaksi antara molekul tersebut dan gaya intermolekul antara solvent-solvent, solute-solvent, dan solute-solute.

### II.5.2 Viskositas dan Difusifitas

Pada keadaan superkritis, gaya interaksi antar molekul relatif rendah. Hal ini menyebabkan tingginya mobilitas dari molekul dan menyebabkan viskositas dari superkritis menjadi rendah bila dibandingkan dengan solvent liquid. Pada temperatur dibawah minimum, fluida superkritis berkelakuan seperti liquid yaitu viskositas menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Pada temperatur diatas minimum, fluida superkritis berkelakuan seperti gas yaitu

viskositas meningkat seiring dengan kenaikan temperatur (Grandison, 1996).

Seperti halnya densitas, nilai viskositas dan difusivitas tergantung pada temperatur dan tekanan. Viskositas dan difusivitas dari fluida superkritis mendekati gas selama tekanan dinaikkan. Kenaikan temperatur berpengaruh pada kenaikan viskositas gas, namun pada fluida superkritis hal ini menjadi kebalikan. Difusivitas akan meningkatkan seiring dengan kenaikan temperatur. Rendahnya viskositas dan tingginya difusivitas akan memudahkan pelarut untuk melakukan penetrasi ke bahan yang akan diekstrak (Taylor, 1996).

### **II.5.3 Densitas**

Kemampuan pelarut untuk melarutkan zat terlarut dinyatakan dengan jumlah pelarut per satuan volume. Ini disebabkan karena energi pelarutan ditentukan oleh jumlah interaksi pelarut dengan solute yang terjadi dimana densitas merupakan kunci parameter yang ditentukan oleh pengaruh tekanan dan temperatur pada ekstraktor. Fluida superkritis memiliki densitas yang hampir sebanding dengan cairan. Dengan densitas yang tinggi, maka banyak molekul yang dapat melarutkan solut. Sehingga kemampuan melarutkan menjadi lebih besar (Taylor, 1996).

## **II.6 Karbondioksida Superkritis**

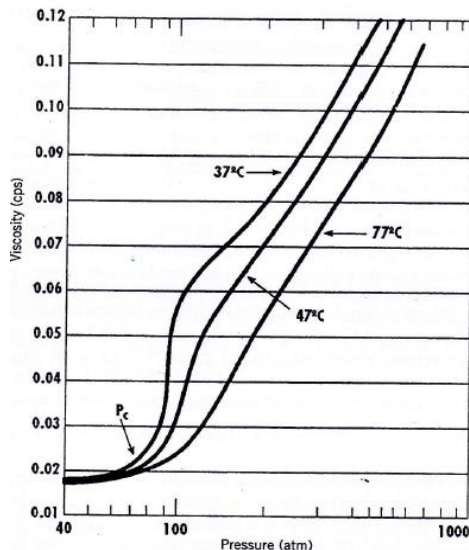
Banyak liquidida dikembangkan sebagai pelarut superkritis dengan pemanasan dan menaikkan tekanan. CO<sub>2</sub> biasanya sering digunakan sebagai pelarut untuk proses ekstraksi fluida superkritis. Ini dikarenakan temperatur kritis CO<sub>2</sub> yang rendah sehingga memungkinkan proses eksperimen mendekati temperatur lingkungan (dapat dilihat dari tabel II.6). *Supercritical CO<sub>2</sub>*, merupakan CO<sub>2</sub> pada temperatur dan tekanan di atas titik kritis. Dimana nilai tekanan kritis CO<sub>2</sub> (P<sub>c</sub>) adalah 7,38 MPa dan temperatur kritis (T<sub>c</sub>) adalah 31.1 °C (Kirk-Othmer, 1991).

Kondisi tersebut relatif mudah dicapai karena tidak terlalu banyak energi yang dibutuhkan.

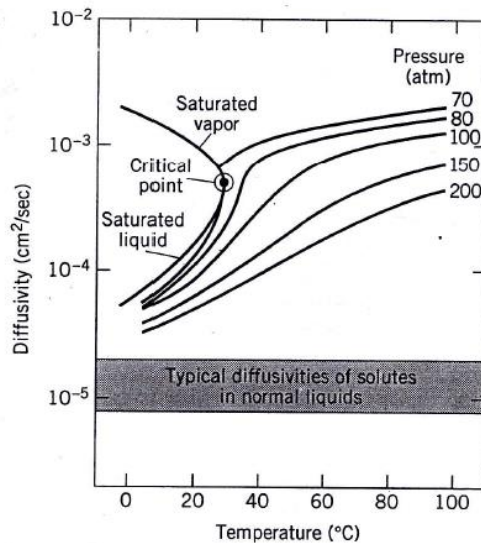
Beberapa kelebihan yang dimiliki CO<sub>2</sub> antara lain sebagai berikut :

- Ideal solvent untuk ekstraksi material yang memiliki suhu labil.
- Secara komersial tersedia dengan kemurnian tinggi.
- Tidak mengandung residu yang berbahaya, tidak berbau, tidak berasa, inert, dan tidak beracun.
- Pemisahan CO<sub>2</sub> dari ekstrak dapat dilakukan dengan mudah dan sempurna.
- Temperatur proses yang rendah
- Selektifitas tinggi.
- Relatif murah, tidak mengubah sifat solute, tidak mudah terbakar, tidak korosif, tidak berwarna, dan tidak berbau.

(Grandinson, 1996)



**Gambar II.3** Viskositas CO<sub>2</sub> pada Beberapa Temperatur dan Tekanan



**Gambar II.4** Diffusivitas vs Temperatur pada Beberapa Tekanan

## II.7 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri Sinar Tampak (UV-Vis) adalah pengukuran energi cahaya oleh suatu sistem kimia pada panjang gelombang tertentu. Selain itu spektrofotometri UV – Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopik yang memakai sumber REM (radiasi elektromagnetik) ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif (Underwood, 2002).

Analisis kualitatif dengan metode spektrofotometri UV-Vis hanya dipakai untuk data sekunder atau data pendukung. Pada analisis kualitatif dengan metode spektrofotometri UV-Vis yang dapat ditentukan ada dua yaitu pemeriksaan kemurnian spektrum UV-Vis dan penentuan panjang gelombang maksimum. Pada penentuan panjang gelombang maksimum didasarkan atas

perhitungan pergeseran panjang gelombang maksimum karena adanya penambahan gugus pada sistem kromofor induk (Istianingrum, 2007).

Spektrum UV-Vis sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif. Konsentrasi dari analit di dalam larutan bisa ditentukan dengan mengukur absorban pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan hukum Lambert-Beer (Permata, 2014).

Hukum Lambert-Beer menyatakan hubungan linieritas antara absorban dengan konsentrasi larutan analit dan berbanding terbalik dengan transmitan. Dalam hukum Lambert-Beer tersebut ada beberapa pembatasan, yaitu :

- Sinar yang digunakan dianggap sebagai sinar monokromatis
- Penyerapan terjadi dalam volume yang mempunyai penampang yang sama
- Senyawa yang menyerap dalam larutan tersebut tidak tergantung terhadap yang lain dalam larutan tersebut
- Tidak terjadi fluorensensi atau fosforisensi
- Indeks bias tidak tergantung pada konsentrasi larutan

## II.8 Persamaan Chrastil

Persamaan Chrastil diperoleh dari sebuah studi tentang kesetimbangan antara solute dan solvent gas yang padat. Pelarutan solute ke dalam solvent terjadi ketika molekul-molekul solute bergabung dengan molekul-molekul gas untuk membentuk *solvato complex*. Satu molekul *solvato complex* dapat dideskripsikan sebagai satu molekul solute A yang bergabung dengan  $k$  molekul B. Pada kondisi kesetimbangan, terdapat hubungan antara A (sebuah molekul solute),  $kB$  (molekul-molekul solvent), dan  $AB_k$  (sebuah molekul *solvato complex*), yang dapat dinyatakan dengan:



Konstanta kesetimbangan,  $K_{eq}$ , dapat dijabarkan sebagai:

$$K_{eq} = \frac{[AB]_k}{[A][B]^k} \quad (2.2)$$

dimana  $[A]$  adalah konsentrasi solute,  $[B]$  adalah konsentrasi solvent,  $[AB]$  adalah konsentrasi *solvato complex* dan  $k$  adalah *association number*. Persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk logaritma:

$$\ln K_{eq} + \ln[A] + k \ln[B] = \ln[AB]_k \quad (2.3)$$

Logaritma dari konstanta kesetimbangan adalah sama dengan:

$$\ln K_{eq} = \frac{\Delta H_{solv}}{RT} + q_s \quad (2.4)$$

dimana  $\Delta H_{solv}$  adalah panas pelarutan,  $R$  adalah konstanta gas ideal,  $T$  adalah absolute temperature, dan  $q_s$  adalah konstanta.

Logaritma dari konsentrasi uap solute dapat didekati dengan persamaan Clausius-Clapeyron:

$$\ln[A] = \frac{\Delta H_{vap}}{RT} + q_v \quad (2.5)$$

dimana  $\Delta H_{vap}$  adalah panas penguapan solute dan  $q_v$  adalah konstanta.

Persamaan (2.4) dan (2.5) dapat digunakan di persamaan (2.3) untuk memperoleh:

$$\frac{\Delta H}{RT} + q + k \ln[B] = \ln[AB]_k \quad (2.6)$$

dimana  $\Delta H$  adalah panas reaksi total:  $\Delta H = \Delta H_{solv} + \Delta H_{vap}$  dan  $q$  adalah konstanta:  $q = q_s + q_v$ .

Lalu konsentrasi dapat dibagi dengan berat molekul untuk mengubah satuan dari mol/L menjadi gr/L:

$$[AB]_k = \frac{c}{M_A + kM_B} \quad (2.7)$$

dan

$$[B] = \frac{d}{M_B} \quad (2.8)$$

dimana  $M_A$  dan  $M_B$  adalah berat molekul dari solute A dan solvent B,  $c$  adalah kelarutan solute di dalam solvent (gr/L), dan  $d$  adalah densitas pelarut (gr/L).

Persamaan (2.7) dan (2.8) dapat dimasukkan ke dalam pers.(2.6) untuk memperoleh:

$$\frac{\Delta H}{RT} + q + k \ln d - k \ln M_B = \ln c - \ln(M_A + kM_B) \quad (2.9)$$

yang akan disusun kembali menjadi persamaan Chrastil:

$$c = d^k \exp\left(\frac{a}{T} + b\right) \quad (2.10)$$

dimana  $c$  adalah kelarutan solute dalam gas yang padat (gr/L),  $d$  adalah densitas solvent (gr/L),  $k$  adalah *association number*,  $T$  adalah temperatur (K),  $a$  adalah panas reaksi ketika solute bergabung dengan solvent, dan  $b$  adalah hubungan antara berat molekul antara solute dengan solvent. Sedangkan  $a$  dan  $b$  dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$a = \frac{\Delta H}{R} \quad (2.11)$$

dan

$$b = \ln(M_A + kM_B) + q - k \ln M_B \quad (2.12)$$

## II.9 Penelitian Terdahulu

Wei dkk (2005) mengekstraksi  $\beta$ -karoten dari minyak sawit mentah (CPO) menggunakan pelarut  $\text{CO}_2$  superkritis (SC- $\text{CO}_2$ ). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari pengaruh dari tekanan, temperatur, laju alir  $\text{CO}_2$ , dan ukuran sampel terhadap  $\beta$ -karoten yang terekstrak. Ekstraksi  $\beta$ -karoten tergantung pada kelarutan/solubilitas  $\beta$ -karoten di dalam  $\text{CO}_2$  superkritis. Solubilitas  $\beta$ -karoten dalam  $\text{CO}_2$  superkritis dapat ditingkatkan dengan menaikkan tekanan pada temperatur konstan atau menurunkan temperatur pada tekanan konstan. Peningkatan laju alir  $\text{CO}_2$  dan mengecilkan ukuran sampel bisa mengurangi waktu ekstraksi tetapi tidak meningkatkan solubilitasnya.

Lau dkk (2007) melakukan eksperimen untuk mengekstrak  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dari ampas hasil perasan *mesocarp* kelapa sawit dengan metode ekstraksi menggunakan  $\text{CO}_2$  superkritis. Eksperimen dilakukan pada kondisi isothermal dengan suhu  $40^\circ\text{C}$  dan digunakan teknik ekstraksi kontinyu dimana tekanan pada 3 jam pertama sebesar 10 MPa, lalu pada



satu jam berikutnya dinaikkan ke 20 MPa, dan 6 jam selanjutnya pada 30 MPa.  $\alpha$ - tokoferol paling banyak terekstrak pada tekanan 10 MPa karena memiliki solubilitas yang relatif tinggi di CO<sub>2</sub> superkritis dibandingkan dengan trigliserida. Sementara  $\beta$ -karoten lebih banyak terekstrak pada tekanan 30 MPa karena solubilitas yang rendah di CO<sub>2</sub> superkritis.

Davarnejad dkk (2008) telah mengekstrak  $\beta$ -karoten dari *crude palm oil* (CPO) dengan CO<sub>2</sub> superkritis. Kondisi operasi yang digunakan adalah : tekanan pada 75, 125, dan 175 bar, temperatur pada 80, 100, dan 120°C dengan waktu ekstraksi selama 1, 3, dan 5 jam. Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa yield maksimal  $\beta$ -karoten ( $1,741 \times 10^{-2}\%$ ) didapat pada tekanan 75 bar, temperatur 120°C, dan waktu ekstraksi 1 jam. Jadi disimpulkan bahwa CPO banyak mengandung  $\beta$ -karoten dan dengan proses ekstraksi fluida superkritis dapat meningkatkan nilai kelayakan makan dari CPO.

Ab Rahman dkk (2011) melakukan penelitian untuk mengambil sisa minyak dari *palm kernel cake* menggunakan CO<sub>2</sub> superkritis. SC-CO<sub>2</sub> digunakan untuk memisahkan minyak dari matriks/serat inti sawit (*palm kernel*). Parameter yang perlu diperhatikan adalah ukuran partikel, tekanan, temperatur, laju alir CO<sub>2</sub>, dan lama ekstraksi. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa yield sisa minyak yang terekstrak meningkat dengan kenaikan tekanan dan temperatur, dan dengan pengecilan ukuran partikel.

Toro dkk (2014) melakukan penelitian mengenai ekstraksi fluida superkritis yang terintegrasi dengan hidrolisis air subkritis untuk memperoleh komponen bioaktif dari ampas kelapa sawit hasil pengepresan. Pada proses ekstraksi fluida superkritis menggunakan pelarut SC-CO<sub>2</sub> akan menghasilkan minyak yang kaya dengan kandungan karotenoid, sementara proses hidrolisis air subkritis menghasilkan hidrolisat dengan kadar gula yang tinggi. Dari penelitian ini dapat diketahui pengaruh dari tekanan (15 – 30 MPa) dan temperatur (318 K dan 328 K) terhadap karotenoid yang terekstrak. Yield minyak yang terekstrak akan

meningkat terhadap kenaikan tekanan pada temperatur konstan. Namun kandungan  $\beta$ -karoten tertinggi diperoleh pada kondisi operasi 318 K dan 15 MPa.

Przygoda dkk (2014) melakukan penelitian untuk mengekstrak minyak yang kaya dengan tokoferol dari biji quinoa dengan metode ekstraksi fluida superkritis menggunakan pelarut SC-CO<sub>2</sub>. Dari penelitian ini dipelajari pengaruh dari parameter proses seperti tekanan, temperatur, laju alir CO<sub>2</sub>, dan waktu ekstraksi terhadap yield total tokoferol. Ekstrak dengan kandungan tokoferol tertinggi didapatkan pada temperature tinggi (120 – 130°C) dan pada tekanan 18 – 20 MPa. Waktu ekstraksi yang lama memiliki pengaruh positif terhadap jumlah minyak dan tokoferol yang terekstrak.

Aszari dan Putri (2015) melakukan penelitian mengenai ekstraksi senyawa fitokimia ( $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol) dari ampas kelapa sawit dengan metode ekstraksi CO<sub>2</sub> superkritis. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa yield ekstrak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol akan meningkat dengan kenaikan tekanan dan penurunan temperatur. Lalu perubahan laju alir CO<sub>2</sub> tidak berpengaruh secara signifikan terhadap yield ekstrak yang diperoleh. Kemudian penambahan co-solvent (etanol) dapat meningkatkan solubilitas ekstrak dalam CO<sub>2</sub>.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Garis Besar dan Variabel Penelitian**

Proses ekstraksi fluida superkritis digunakan untuk mengambil sisa minyak dari ampas kelapa sawit dan nutrisi ( $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol) yang terkandung di dalam sisa minyak tersebut. Fluida superkritis yang digunakan adalah karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) superkritis. Karbondioksida mempunyai titik kritis pada suhu  $31,06\text{ }^\circ\text{C}$  dan pada tekanan  $7,38\text{ MPa}$  ( $72,83\text{ atm}$  atau  $73,8\text{ bar}$ ). Proses ekstraksi ini dilakukan secara *semi batch* selama enam jam. Ekstraksi dilakukan dengan kondisi operasi yang bervariasi yaitu tekanan  $20 ; 30 ; 40\text{ MPa}$ , temperatur  $40 ; 60 ; 80\text{ }^\circ\text{C}$ , dan flow rate  $\text{CO}_2$   $3 ; 3,5 ; 4\text{ ml/menit}$ . Ampas kelapa sawit dikeringkan dan dipotong menjadi lebih kecil terlebih dahulu kemudian dimasukkan ke dalam ekstraktor yang memiliki volume  $25\text{ ml}$ . Dengan proses ekstraksi ini diharapkan akan diperoleh pengetahuan tentang pengaruh kondisi operasi terhadap sisa minyak yang dapat terekstrak dan senyawa nutrisi yang terkandung di dalamnya. Selain itu, pengetahuan tentang kelarutan sisa minyak dari ampas kelapa sawit dalam karbondioksida superkritis juga akan didapatkan. Kemudian ekstrak yang didapat akan dianalisa dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### **III.2 Bahan dan Alat**

##### **III.2.1 Bahan untuk Ekstraksi dan Analisa**

1. Ampas kelapa sawit diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Sungai Rangit, PT. Sungai Rangit (Sampoerna Agro Group Tbk), Sukamara, Kalimantan Tengah.
2.  $\text{CO}_2$  liquid dengan kemurnian  $99,7\%$  diperoleh dari PT. Samator.
3. Ethanol  $99,8\%$  (CAS : 64-17-5) diproduksi oleh PT Smart Lab Indonesia untuk proses *cleaning*.

4.  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol standard diperoleh dari Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Jepang untuk analisa spektrofotometer UV-Vis.

### III.2.2 Peralatan yang Digunakan

#### III.2.2.1 Alat Ekstraksi

a. *Chiller*

*Chiller* yang digunakan adalah Yamato Neocool Circulator CF 600. *Chiller* berfungsi sebagai pendingin bagi karbondioksida sebelum masuk pompa. Hal ini bertujuan agar menjaga karbondioksida tetap dalam keadaan cair sebelum masuk ke dalam kolom ekstraksi.

b. Kolom Ekstraksi

Kolom ekstraksi yang digunakan diperoleh dari Thar Tech, Inc., Amerika Serikat. Alat ini memiliki volume 25 ml dan terbuat dari *stainless steel* yang berbentuk silinder dengan dimensi: tinggi 13 cm dan diameter dalam 2,06 cm.

c. *Collection vial*

*Collection vial* yang digunakan berbahan *polypropylene*. Alat ini sebagai penampung ekstrak dan tempat terpisahnya pelarut ( $\text{CO}_2$ ) dengan ekstrak.

d. *Oven*

*Oven* yang digunakan adalah model DHG *heating drying oven*. *Oven* berfungsi sebagai pemanas untuk menaikkan dan menjaga suhu operasi ekstraksi. *Oven* ini bisa beroperasi hingga mencapai suhu  $300^\circ\text{C}$ .

e. *Back Pressure Regulator* (BPR)

*Back Pressure Regulator* yang digunakan dibuat oleh Akico, Jepang, dan berfungsi sebagai pengatur tekanan proses. Pengatur tekanan ini dapat menahan tekanan

hingga 50 MPa. *Back Pressure Regulator* dilengkapi dengan pemanas yang bertujuan agar karbondioksida yang keluar dari BPR tidak mengalami *freezing* (pembekuan) sehingga tidak menyumbat *tube* produk yang keluar.

f. Pompa Karbondioksida

Pompa yang digunakan adalah Jasco PU-1586. Pompa ini digunakan untuk memompa karbondioksida sampai pada tekanan operasi yang diinginkan. Pompa mempunyai tekanan maksimum 50 Mpa dan laju alir maksimal 20 ml/menit.

g. *Gas Flowmeter*

*Gas flowmeter* yang digunakan adalah *dry test gas meter* DC 1 buatan Sinagawa Co., Jepang, dengan *max pressure* 10 kPa dan *measuring range* 10-1100 L/h. Alat ini berfungsi sebagai pengukur banyaknya karbondioksida yang terpakai selama proses berlangsung. Pengukur ini dalam satuan m<sup>3</sup> dan liter, tetapi untuk penelitian ini yang dipakai adalah dalam satuan liter.

### III.2.2.2 Alat Analisa Kandungan $\beta$ -karoten dan $\alpha$ -tokoferol

a. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis digunakan sebagai alat untuk menganalisa secara kualitatif dan kuantitatif senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terkandung di dalam minyak. Spektrofotometer yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis Genesys 10S dari Thermo Scientific.

b. High Performance Liquid Chromatograph

High performance Liquid Chromatograph digunakan sebagai alat untuk menganalisa secara kualitatif senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terkandung di dalam

minyak. High Performance Liquid Chromatograph yang digunakan adalah Hewlett Packward 11000 Series

### **III.3 Prosedur Percobaan**

Percobaan ini terbagi menjadi empat tahap, yaitu tahap persiapan bahan, tahap ekstraksi, tahap cleaning, dan tahap analisa.

#### **III.3.1 Tahap Persiapan Bahan**

Ampas kelapa sawit dikeringkan terlebih dahulu dalam oven selama 24 jam dengan suhu pengeringan 30 – 35°C. Lalu ampas kelapa sawit yang telah kering dipotong sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dengan panjang sekitar 1 – 5 mm. Kemudian ampas kelapa sawit yang telah dipotong tersebut ditimbang terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam ekstraktor. Bagian bawah kolom ekstraktor terlebih dahulu diisi dengan *glassbead* sebanyak 2,5 gram, kemudian ampas kelapa sawit yang sudah dipotong-potong dimasukkan ke dalam ekstraktor, dan bagian atas ekstraktor juga diberi *glassbead* sebanyak 2,5 gram. Selanjutnya memasang ekstraktor pada peralatan ekstraksi superkritis di dalam *oven* dan siap untuk dioperasikan.

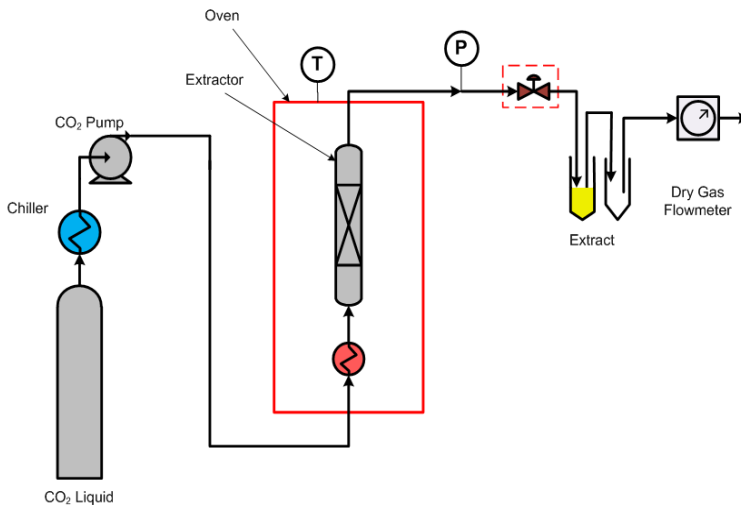
#### **III.3.2 Tahap Ekstraksi**

Pada tahap ekstraksi ini, pelarut yang digunakan adalah karbondioksida superkritis. Skema peralatan ekstraksi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar III.1. Langkah – langkah pelaksanaan ekstraksi dijelaskan sebagai berikut :

1. Memastikan peralatan sudah terhubung dengan sumber listrik dan BPR (*Back Pressure Regulator*) dalam keadaan tertutup.
2. Menghidupkan *chiller* dan menetapkan set temperaturnya pada 2°C.

3. Setelah *chiller* mencapai temperatur yang diinginkan, *temperature controller* pada *heater* dihidupkan dan menetapkan *set temperature* pada temperatur operasi, yaitu 40, 60, dan 80°C.
4. Menghidupkan pompa dan menunggu sampai kondisi pompa di monitor menjadi stabil.
5. Membuka *valve* tabung karbondioksida, kemudian memompa CO<sub>2</sub> dengan menetapkan laju alir CO<sub>2</sub> sesuai variabel 3 ; 3,5 ; 4 ml/min (pada pompa).
6. Mendinginkan CO<sub>2</sub> dengan *chiller* yang temperaturnya 2°C. Hal ini bertujuan agar CO<sub>2</sub> yang akan menuju pompa dalam keadaan liquid.
7. Memompa CO<sub>2</sub> yang keluar dari *chiller* dengan menekan tombol "*pump*" hingga tekanannya naik sesuai dengan variabel tekanan (20, 30, dan 40MPa).
8. Kemudian mengalirkan CO<sub>2</sub> ke dalam oven yang dilengkapi dengan *pre-heater* yang telah diset dengan temperatur sesuai variabel (40, 60, dan 80°C), sehingga pada temperatur tersebut, kondisi CO<sub>2</sub> telah menjadi fluida superkritis.
9. Mengontakkan CO<sub>2</sub> superkritis yang dialirkan ke dalam ekstraktor dengan ampas kelapa sawit secara *semi batch*. Waktu ekstraksi berlangsung selama enam jam (360 menit).
10. Mengambil ekstrak pada menit ke-30, 60, 120, 180, 240, 300, dan 360 dengan cara menampungnya pada *collection vial*, mencatat angka pada *gas flowmeter*, kemudian mengganti dengan *collection vial* yang lain. Pengambilan ekstrak dilakukan selama proses ekstraksi sampai enam jam.
11. Setelah proses selesai, menekan kembali tombol "*pump*" pada pompa, kemudian menutup *valve* tabung karbondioksida dan mencatat angka pada *gas flowmeter*.

12. Membuka BPR secara perlahan untuk menurunkan tekanan dalam kolom sampai kolom tidak bertekanan.
13. Mematikan *control temperature* pada pemanas dan BPR.
14. Mematikan pompa dan *chiller*.
15. Mengambil ekstrak yang tertampung di *collection vial* dan menimbang beratnya kemudian menyimpannya untuk dianalisa.



**Gambar III.1** Skema Peralatan Ekstraksi Secara *Semi-Batch* dengan CO<sub>2</sub> Superkritis

### III.3.3 Tahap *Cleaning*

Tahap *cleaning* dilakukan setelah percobaan yang bertujuan untuk membersihkan sisa - sisa ekstrak yang tertinggal di dalam ekstraktor maupun di dalam *tube*. *Cleaning* dilakukan dengan cara memompa ethanol dan CO<sub>2</sub> superkritik ke dalam ekstraktor yang kemudian ditampung di *collection vial*.



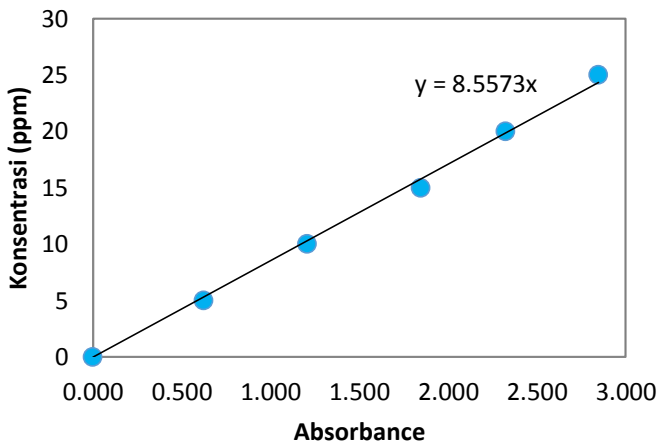
### III.3.4 Tahap Analisa

Hasil ekstraksi (ekstrak) yang diperoleh disimpan dalam *collection vial* yang telah dibungkus dengan aluminium foil dan disimpan dalam *freezer*. Ekstrak dianalisa beratnya dengan menggunakan neraca sehingga dapat dihitung yield total ekstrak, yaitu berat ekstrak dibagi dengan berat *starting material* yang dimasukkan ke dalam ekstraktor (gr/gr sampel). Senyawa  $\beta$ -karoten serta  $\alpha$ -tokoferol dalam minyak dianalisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

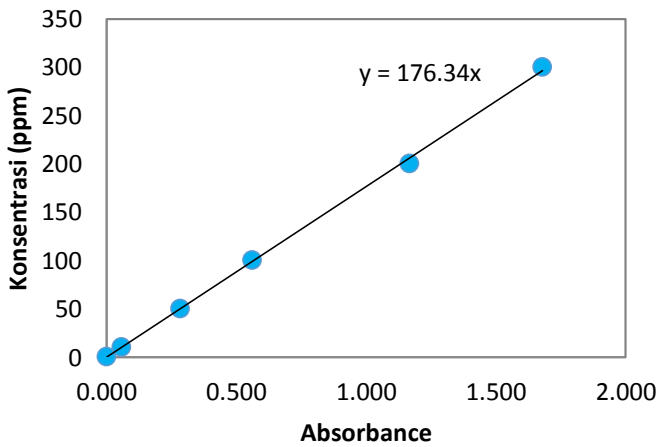
#### III.3.4.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis Genesys 10S dari Thermo Scientific. Kuvet kuarsa digunakan sebagai tempat sampel pada saat analisa.

Spektrofotometer dikalibrasi dengan cairan blangko yaitu *n-hexane* yang dimasukkan ke dalam kuvet. Kemudian mengatur panjang gelombang pada spektrofotometer. Untuk menganalisa kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol, panjang gelombang yang digunakan berturut-turut adalah 450 nm dan 293 nm. Setelah itu membuat larutan standar  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang dilarutkan dengan *n-hexane*. Larutan standar  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dibuat dengan berbagai konsentrasi. Untuk larutan standar  $\beta$ -karoten, konsentrasi yang digunakan adalah 5 – 25 ppm sedangkan untuk  $\alpha$ -tokoferol adalah 10 – 300 ppm. Kemudian mengukur absorbansi pada masing – masing konsentrasi untuk mendapatkan kurva kalibrasi. Berikut ini adalah kurva kalibrasi larutan standar  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol :



(a)



(b)

**Gambar III.2** Kurva Kalibrasi Larutan Standart; (a) Standart  $\beta$ -Karoten dan (b) Standart  $\alpha$ -Tokoferol

Untuk menghitung berat  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang berhasil terekstrak dilakukan perbandingan absorbansi dengan larutan standar yang telah dibuat. Ekstrak dilarutkan dalam 3 ml n-hexane lalu diukur nilai absorbansi-nya. Nilai absorbansi yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan garis yang telah didapat dari kurva kalibrasi. Kemudian dapat dihitung yield  $\beta$ -karoten maupun  $\alpha$ -tokoferol, dimana yield  $\beta$ -karoten atau  $\alpha$ -tokoferol adalah berat  $\beta$ -karoten atau  $\alpha$ -tokoferol yang terekstrak dibagi dengan berat *starting material* yang dimasukkan ke dalam ekstraktor (mg/gr sampel).

### III.4 Penentuan Solubilitas

Dalam penentuan solubilitas hasil eksperimen, perlu dihitung terlebih dahulu yield dari setiap komponen yang ingin diketahui kelarutannya dalam suatu pelarut. Untuk menghitung solubilitas hasil eksperimen, dilakukan perbandingan antara yield total ekstrak (yield minyak), yield  $\beta$ -karoten, atau yield  $\alpha$ -tokoferol dengan jumlah  $\text{CO}_2$  yang dipakai selama proses ekstraksi, yaitu jumlah  $\text{CO}_2$  yang terukur pada *gas flowmeter* dibagi dengan berat *starting material* yang dimasukkan ke dalam ekstraktor (liter  $\text{CO}_2$ /gr sampel). Lalu dibuat grafik jumlah  $\text{CO}_2$  (L  $\text{CO}_2$ /gr sampel) vs yield minyak (gr/gr sampel) atau jumlah  $\text{CO}_2$  (L  $\text{CO}_2$ /gr sampel) vs yield  $\beta$ -karoten atau  $\alpha$ -tokoferol (mg/gr sampel), dimana dari grafik tersebut dapat diketahui solubilitas minyak (gr/L  $\text{CO}_2$ ), maupun solubilitas  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol (mg/L  $\text{CO}_2$ ) dalam  $\text{CO}_2$  superkritis, dengan cara mengambil slope terbesarnya. Nilai solubilitas tersebut menunjukkan jumlah senyawa yang dapat terlarut dalam 1 liter  $\text{CO}_2$  superkritis.

Kemudian dapat dibuat grafik antara nilai solubilitas hasil eksperimen dengan densitas  $\text{CO}_2$  superkritis untuk mengetahui pengaruh densitas pelarut terhadap solubilitas suatu senyawa pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu. Densitas  $\text{CO}_2$  superkritis dihitung dengan menggunakan suatu aplikasi khusus, yaitu EOS-SCx Ver. 0.2w, dimana dalam aplikasi tersebut digunakan

*Equation of State* yang dikembangkan oleh R. Span dan W. Wagner sebagai referensi dalam penentuan densitas CO<sub>2</sub> pada daerah superkritis.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

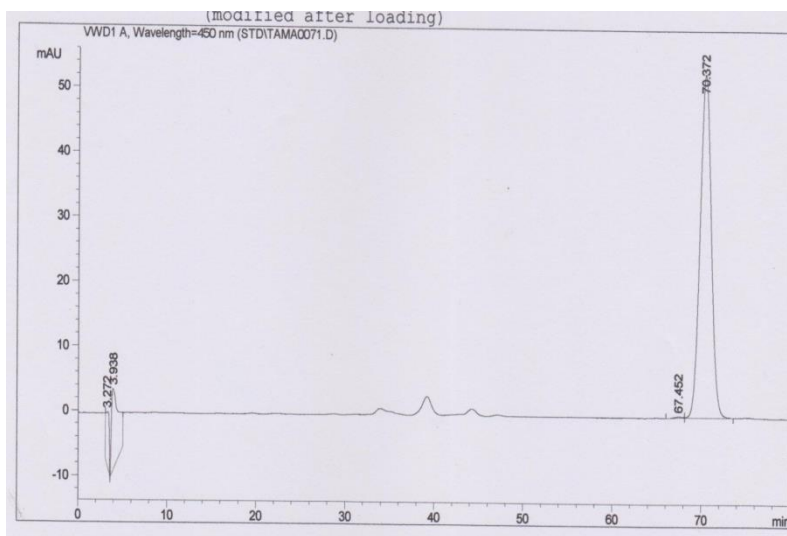
Dalam penelitian ini, dipelajari pengaruh kondisi operasi dalam ekstraksi sisa minyak dari ampas kelapa sawit menggunakan metode ekstraksi dengan fluida karbondioksida superkritis terhadap yield total minyak yang diperoleh. Dalam percobaan ini dilakukan berbagai variasi kondisi operasi, yaitu tekanan, temperatur, dan laju alir CO<sub>2</sub>. Sisa minyak dari ampas kelapa sawit mengandung nutrisi yang berguna bagi kesehatan manusia, dimana nutrisi yang paling banyak terkandung di dalamnya adalah  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol (Lau, 2007). Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga dipelajari pengaruh kondisi operasi terhadap yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang dapat diperoleh dimana  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol terkandung di dalam minyak.

Untuk mengetahui kandungan awal dari senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol di dalam ampas kelapa sawit yang digunakan, ampas kelapa sawit diekstrak menggunakan metode ekstraksi soklet dengan pelarut n-hexane selama 7, 10, dan 12 jam. Pada metode ekstraksi soklet, digunakan dua macam *starting material* yaitu ampas kelapa sawit tanpa pengeringan dan dengan pengeringan (pengeringan selama 24 jam pada suhu 30 – 35°C). Sebelum dilakukan proses ekstraksi, *starting material* (ampas kelapa sawit tanpa dan dengan pengeringan) dipotong-potong terlebih dahulu menjadi ukuran yang lebih kecil, dengan panjang ampas kelapa sawit setelah dipotong sekitar 1 – 5 mm, dan diameter sekitar 0,1 mm. Proses pemotongan tersebut akan menyebabkan luas area interaksi antara *solute* dan *solvent* akan semakin besar, menyebabkan kerusakan pada dinding sel, dan akan menurunkan hambatan daripada transfer massa. Hal – hal tersebut akan dapat meningkatkan yield minyak yang terekstrak, serta meningkatkan pula kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam minyak. *Starting material* yang digunakan pada ekstraksi soklet sekitar 7 gram.

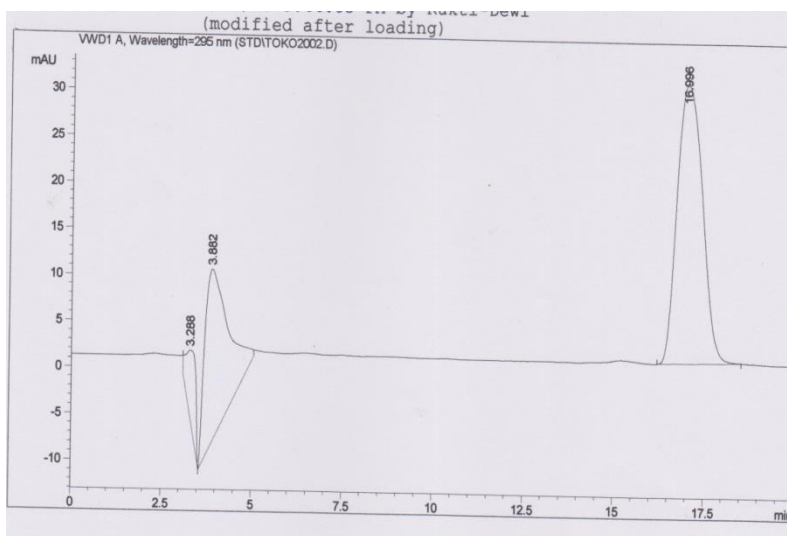
Dari hasil analisa menggunakan spektrofotometer UV-Vis didapatkan bahwa kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dari ampas kelapa sawit dengan pengeringan lebih besar daripada ampas kelapa sawit tanpa pengeringan, dengan selisih sebesar 10% – 16% untuk kandungan  $\beta$ -karoten dan sekitar 70% untuk  $\alpha$ -tokoferol. Kandungan air yang masih terkandung di dalam ampas kelapa sawit menghambat *n*-hexane untuk melarutkan sisa minyak yang terkandung di ampas kelapa sawit karena perbedaan sifat kepolaran antara air dan *n*-hexane, dimana air bersifat polar dan *n*-hexane adalah pelarut organik yang bersifat non-polar. Sehingga air dan *n*-hexane tidak akan saling melarut (*immiscible*) dan menghambat terjadinya transfer massa minyak ke dalam *n*-hexane.

Berdasarkan hasil analisa tersebut, ditetapkan bahwa kandungan awal  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol di dalam ampas kelapa sawit berturut-turut sebesar 0,31 dan 2,41 mg/gr ampas kelapa sawit (*dry basis*). Berdasarkan hasil analisa metode ekstraksi soklet tersebut, maka *starting material* yang digunakan dalam penelitian ini, dengan metode ekstraksi fluida superkritis, adalah ampas kelapa sawit yang telah dikeringkan dan dipotong-potong. Hasil eksperimen yang diperoleh dengan metode ekstraksi secara *semi batch* menggunakan karbondioksida superkritis akan dianalisa untuk mengetahui kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam minyak ampas kelapa sawit, sehingga dapat dipelajari kondisi operasi optimal pada proses ekstraksi tersebut dan dapat diketahui kelarutan/solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dalam karbondioksida superkritis.

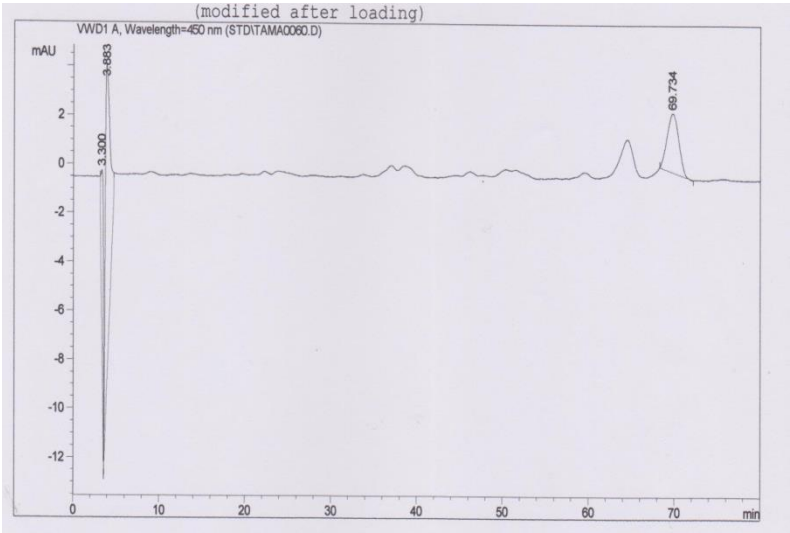
Selain itu analisa juga dilakukan dengan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk mengetahui adanya kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam minyak yang terkestrak. Kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam ekstrak dapat dilihat berturut – turut pada gambar IV.1.



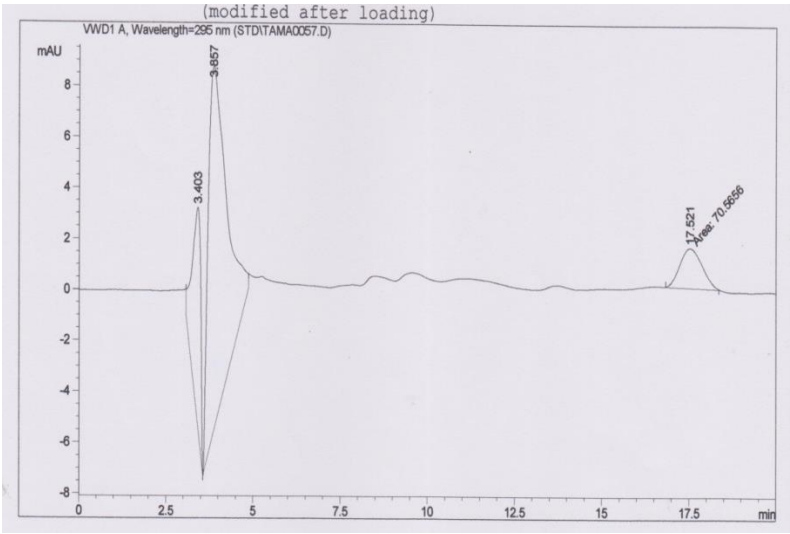
(a)



(b)



(c)



(d)

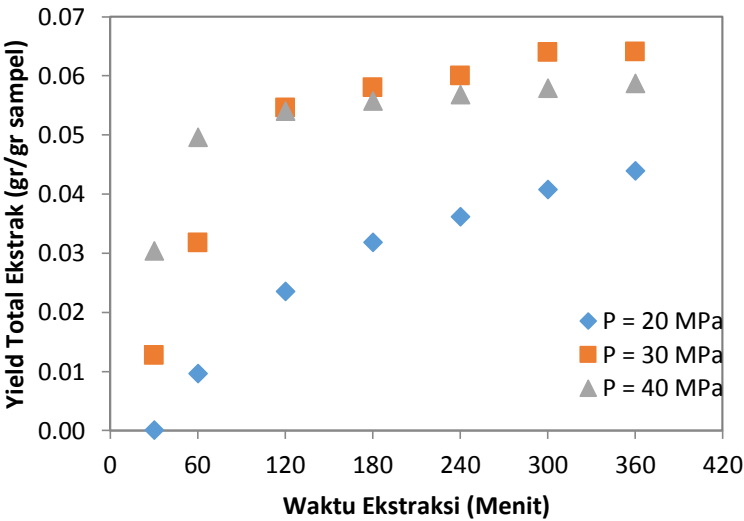


**Gambar IV.1** Kromatogram HPLC  $\beta$ -Karoten dan  $\alpha$ -Tokoferol :  
 (a)  $\beta$ -Karoten standar, (b)  $\alpha$ -Tokoferol standar (c)  
 $\beta$ -Karoten pada  $P = 20 \text{ MPa}$  ;  $T = 60^\circ\text{C}$  ;  $\text{CO}_2$   
*Flow Rate* = 3 ml/min ;  $t = 120 \text{ min}$ , dan (d)  $\alpha$ -  
 Tokoferol pada  $P = 20 \text{ MPa}$  ;  $T = 60^\circ\text{C}$  ;  $\text{CO}_2$   
*Flow Rate* = 3 ml/min ;  $t = 120 \text{ min}$

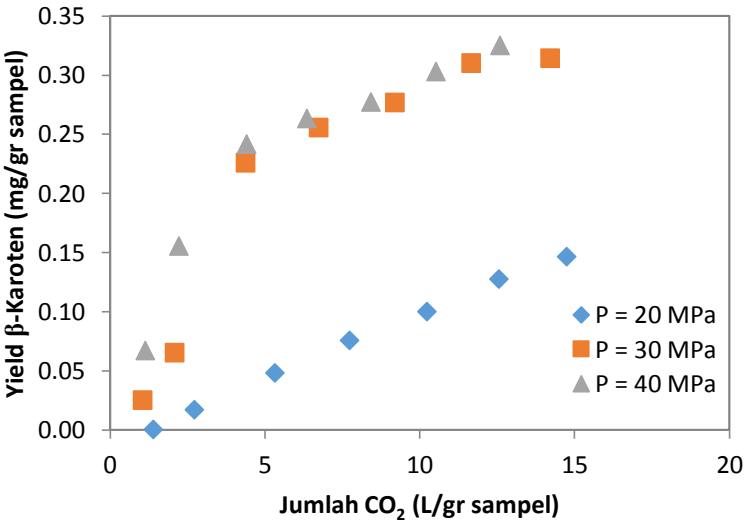
Gambar IV.1(a) dan (c) menunjukkan kromatogram HPLC  $\beta$ -Karoten standar dan  $\beta$ -Karoten ( $P = 20 \text{ MPa}$  ;  $T = 60^\circ\text{C}$  ;  $\text{CO}_2$  *Flow Rate* = 3 ml/min ;  $t = 120 \text{ min}$ ), dimana diperoleh *peak*  $\beta$ -karoten yang muncul pada *range* menit ke 69 – 71. Sedangkan dari kromatogram HPLC  $\alpha$ -Tokoferol standar dan  $\alpha$ -Tokoferol ( $P = 20 \text{ MPa}$  ;  $T = 60^\circ\text{C}$  ;  $\text{CO}_2$  *Flow Rate* = 3 ml/min ;  $t = 120 \text{ min}$ ) yang ditunjukkan pada Gambar IV.1(b) dan (d), diperoleh *peak*  $\alpha$ -tokoferol yang muncul pada *range* menit ke 16,5 - 17,5.

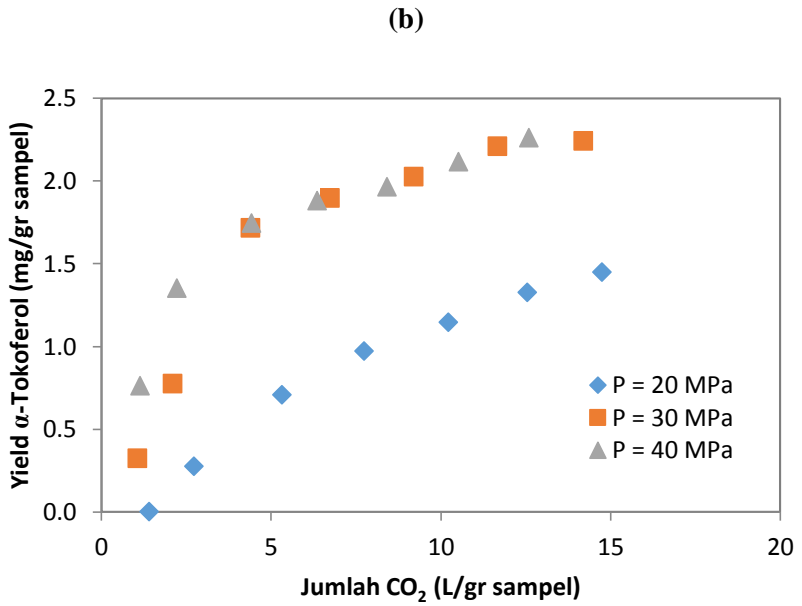
#### IV.1 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Ekstraksi

Pengaruh tekanan terhadap proses ekstraksi pada penelitian ini dipelajari pada temperatur konstan sebesar  $60^\circ\text{C}$  dan  $\text{CO}_2$  *flow rate* konstan sebesar 3 ml/min. Untuk mempelajari pengaruh tekanan dalam proses ekstraksi, maka tekanan operasi divariasikan sebesar 20, 30, dan 40 MPa.



(a)





**(c)**

**Gambar IV.2** Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Yield Minyak,  $\beta$ -Karoten, dan  $\alpha$ -Tokoferol pada Kondisi Operasi :  $T = 60^{\circ}\text{C}$  dan  $\text{CO}_2$  Flow Rate = 3 ml/min; (a) Yield Minyak, (b) Yield  $\beta$ -Karoten, dan (c) Yield  $\alpha$ -Tokoferol

Gambar IV.2 menunjukkan hasil penelitian tentang pengaruh tekanan dalam proses ekstraksi. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa yield minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol cenderung meningkat dengan kenaikan tekanan operasi pada temperatur konstan. Kenaikan tekanan operasi akan meningkatkan densitas dari karbondioksida superkritik sebagai *solvent*. Sehingga *solvent power* dari karbondioksida superkritik akan bertambah besar dalam melarutkan minyak yang terperangkap di matriks serabut kelapa sawit dan mengakibatkan kelarutan/solubilitas minyak,

serta  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terkandung di dalamnya meningkat pula.

Kenaikan tekanan operasi dari 20 MPa ke 30 MPa meningkatkan yield minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol secara signifikan, namun kenaikan tekanan dari 30 MPa ke 40 MPa hanya sedikit meningkatkan yield minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol. Menurut Wei dkk, terdapat *pressure region* dimana solubilitas *solute* dalam fluida superkritis akan meningkat secara signifikan. Berdasarkan penelitian kali ini maka *pressure region* dari minyak ampas kelapa sawit pada karbondioksida superkritis berada pada kisaran tekanan 20 – 30 MPa.

Dari Gambar IV.2(a) dapat dilihat bahwa yield minyak pada tekanan 40 MPa lebih besar dibandingkan dengan yield minyak pada tekanan 30 MPa dari waktu ekstraksi mulai dilakukan hingga waktu ekstraksi 60 menit. Namun pada waktu ekstraksi 120 menit, yield minyak yang diperoleh pada tekanan 30 MPa dan 40 MPa hampir sama dan terjadi *crossover* dimana yield minyak pada tekanan 30 MPa menjadi lebih besar daripada yield minyak yang diperoleh pada tekanan 40 MPa dari waktu ekstraksi 180 menit hingga 360 menit. Hal tersebut dapat terjadi kemungkinan karena pada tekanan yang paling tinggi yaitu 40 MPa, *starting material* yang ada di dalam ekstraktor menjadi sangat mampat, sehingga CO<sub>2</sub> superkritis mengalami kesulitan untuk menembus atau melewati matriks dari ampas kelapa sawit dan akan sulit untuk melarutkan minyak yang terdapat di dalam matriks tersebut.

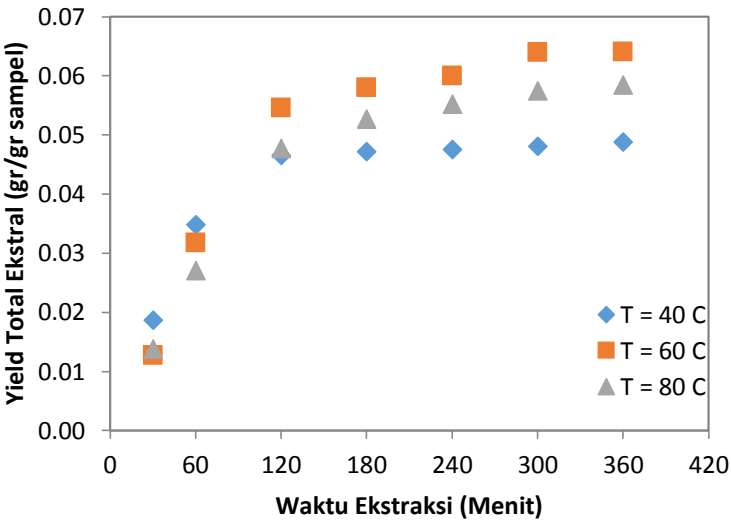
Pada tekanan tinggi (30 dan 40 MPa), yield minyak terus mengalami kenaikan dari sejak ekstraksi dilakukan hingga waktu ekstraksi mencapai 60 menit. Setelah waktu ekstraksi mencapai 60 menit, yield minyak cenderung relatif konstan hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit. Namun pada tekanan operasi yang lebih rendah, yaitu 20 MPa, yield minyak terus mengalami kenaikan dari awal ekstraksi hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit. Begitu juga terjadi pada yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol, dimana pada tekanan operasi 30 dan 40 MPa kenaikan

yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol berlangsung sampai dengan waktu ekstraksi selama 60 menit, dan akan relatif konstan hingga ekstraksi selesai. Pada tekanan operasi 20 MPa, kenaikan yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol berlangsung dari awal ekstraksi hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit. Yield minyak terbesar diperoleh pada tekanan operasi 30 MPa, yaitu sebesar 0,064 gr/gr sampel. Sementara yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terbesar berturut-turut adalah 0,325 dan 2,261 mg/gr sampel pada tekanan operasi 40 MPa.

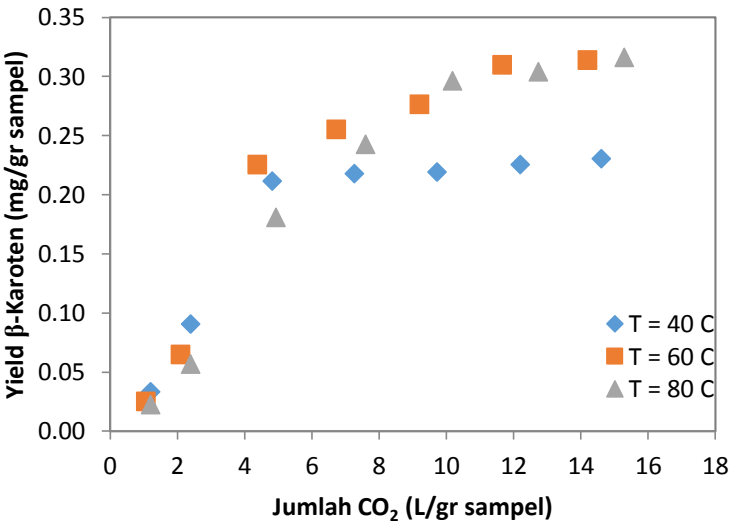
Dari Gambar IV.2 terlihat bahwa untuk hasil optimum dalam mengekstrak senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dari 1 gram sampel ampas kelapa sawit, dibutuhkan CO<sub>2</sub> sebanyak 4 L untuk tekanan operasi sebesar 40 MPa maupun 30 MPa, sedangkan pada tekanan operasi sebesar 20 MPa dibutuhkan CO<sub>2</sub> lebih dari 15 L untuk mencapai hasil yang sama pada tekanan operasi 30 dan 40 MPa. Selain itu, dari Gambar IV.2(b) dan (c) juga dapat diketahui solubilitas  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam CO<sub>2</sub> superkritik dengan mengambil slope kurva ekstraksi dari saat ekstraksi dimulai sampai waktu ekstraksi selama 60 menit.

#### **IV.2 Pengaruh Temperatur Terhadap Proses Ekstraksi**

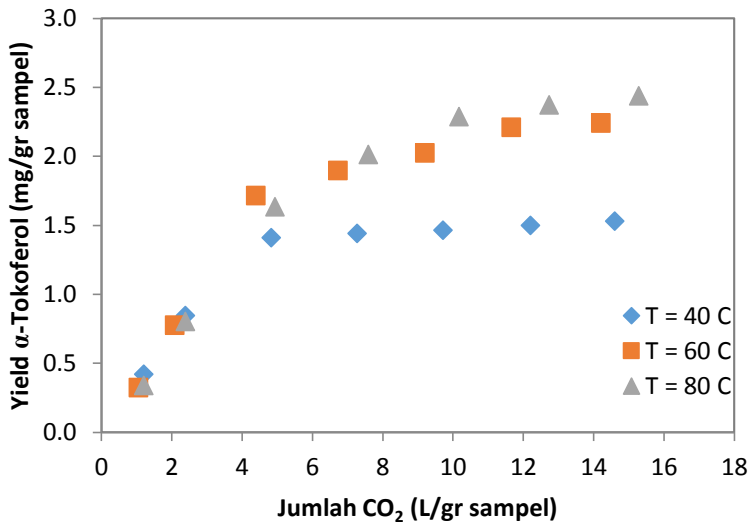
Pengaruh temperatur terhadap proses ekstraksi dipelajari pada tekanan konstan sebesar 30 MPa dan CO<sub>2</sub> *flow rate* konstan sebesar 3 ml/min. Untuk mempelajari pengaruh temperatur dalam proses ekstraksi, maka temperatur operasi divariasikan sebesar 40, 60, dan 80°C.



(a)



(b)



(c)

**Gambar IV.3** Pengaruh Temperatur Operasi Terhadap Yield Minyak,  $\beta$ -Karoten, dan  $\alpha$ -Tokoferol pada Kondisi Operasi :  $P = 30$  MPa dan  $\text{CO}_2$  Flow Rate = 3 ml/min; (a) Yield Minyak, (b) Yield  $\beta$ -Karoten, dan (c) Yield  $\alpha$ -Tokoferol

Gambar IV.3 menunjukkan hasil penelitian tentang pengaruh temperatur operasi terhadap jalannya proses ekstraksi. Efek temperatur pada proses ekstraksi fluida superkritik lebih sulit diperkirakan daripada efek tekanan. Temperatur operasi pada ekstraksi fluida superkritik berpengaruh terhadap densitas *solvent* dan *vapor pressure*/tekanan uap dari *solute* yang ingin diekstrak. Kenaikan temperatur pada tekanan konstan akan menurunkan densitas *solvent*, sehingga *solvent power* untuk melarutkan *solute* akan berkurang, yang mengakibatkan kelarutan/solubilitas *solute* dalam *solvent* akan turun, begitu pula dengan yield dari *solute*

yang akan berkurang. Namun hal sebaliknya terjadi pada efek temperatur terhadap *solute vapor pressure*. Kenaikan temperatur pada tekanan konstan akan meningkatkan *solute vapor pressure* yang memudahkan komponen untuk berdifusi ke dalam *solvent*, sehingga kelarutan/solubilitas *solute* dalam *solvent* akan naik dan yield yang dihasilkan akan semakin besar. Kedua efek tersebut memiliki pengaruh yang saling berkebalikan, sehingga untuk mengetahui pengaruh temperatur operasi terhadap proses ekstraksi pada tekanan konstan perlu ditinjau efek mana yang lebih dominan, efek densitas *solvent* atau *solute vapor pressure*.

Pada Gambar IV.3(a), pada awal ekstraksi sampai waktu ekstraksi 60 menit, terlihat bahwa yield minyak mengalami penurunan dengan kenaikan temperatur dari 40 hingga 80°C. Namun pada menit 120 hingga akhir waktu ekstraksi terlihat bahwa yield minyak mengalami peningkatan dengan kenaikan temperatur dari 40°C ke 60°C, lalu yield akan turun saat terjadi kenaikan temperatur dari 60°C ke 80°C. Pada temperatur 80°C yield minyak lebih rendah daripada 60°C. Hal tersebut dapat terjadi karena pada temperatur 60°C dan tekanan 30 MPa, efek kenaikan *vapor pressure* minyak lebih dominan daripada efek penurunan densitas CO<sub>2</sub> superkritik. Namun saat temperatur operasi dinaikkan menjadi 80°C pada tekanan yang sama, efek penurunan densitas CO<sub>2</sub> superkritik menjadi lebih dominan daripada efek kenaikan *vapor pressure* minyak.

Dari Gambar IV.3(a) terlihat bahwa yield minyak terus mengalami kenaikan dari awal ekstraksi hingga waktu ekstraksi 120 menit dan cenderung relatif konstan dari waktu ekstraksi 120 menit hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit pada setiap temperatur operasi. Yield minyak terbesar diperoleh pada temperatur operasi 60°C, yaitu sebesar 0,064 gr/gr sampel.

Pada Gambar IV.3(b) dan (c) terlihat bahwa yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol mengalami kenaikan dengan peningkatan temperatur operasi dari 40°C ke 60°C dan yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol sedikit meningkat saat terjadi kenaikan temperatur dari 60°C ke 80°C. Kenaikan temperatur operasi akan meningkatkan

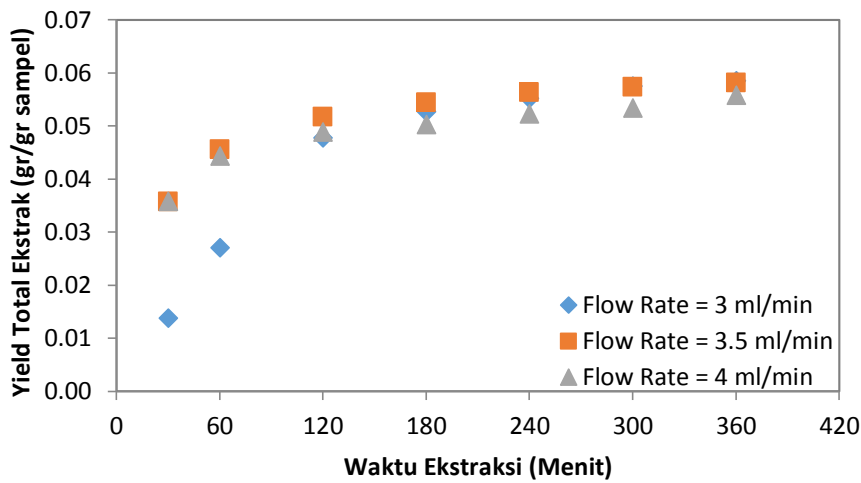


yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan temperatur akan meningkatkan *vapor pressure*  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terkandung di dalam minyak. Dari Gambar IV.3(b) dan (c) dapat dilihat bahwa efek kenaikan *vapor pressure*  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol lebih dominan daripada penurunan densitas CO<sub>2</sub> superkritis sebagai pelarut yang disebabkan oleh kenaikan temperatur. Densitas CO<sub>2</sub> superkritis pada tekanan konstan akan turun seiring dengan kenaikan temperatur, namun perubahan densitas menjadi semakin kecil pada tekanan yang lebih tinggi (Tomita dkk, 2013). Selain itu, kenaikan temperatur memungkinkan perpindahan *solute* di dalam matriks dan/atau dari dalam matriks ke *solvent* yang lebih baik, kemungkinan karena rusaknya struktur tumbuhan atau dinding sel sehingga memudahkan pelarutan *solute* yang terkandung di dalamnya (Machmudah dkk, 2011).

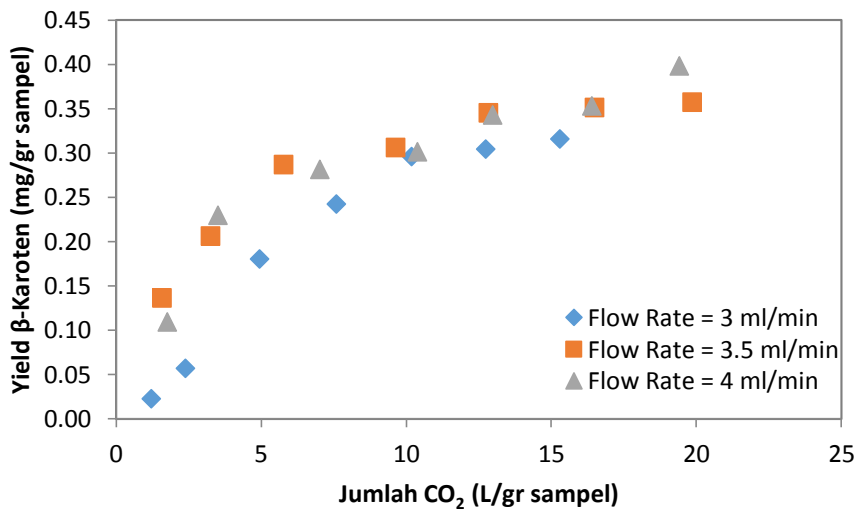
Pada setiap temperatur operasi yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol terus mengalami kenaikan dari awal ekstraksi hingga waktu ekstraksi 120 menit dan cenderung relatif konstan dari waktu ekstraksi 120 menit hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit. Yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terbesar berturut-turut adalah 0,316 dan 2,437 mg/gr sampel pada temperature operasi 80°C. Untuk hasil optimum dalam mengekstrak senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dari 1 gram sampel ampas kelapa sawit, dibutuhkan CO<sub>2</sub> sebanyak 4 - 5 L untuk setiap temperatur operasi (40, 60, dan 80°C).

### IV.3 Pengaruh *Flow Rate* CO<sub>2</sub> Terhadap Proses Ekstraksi

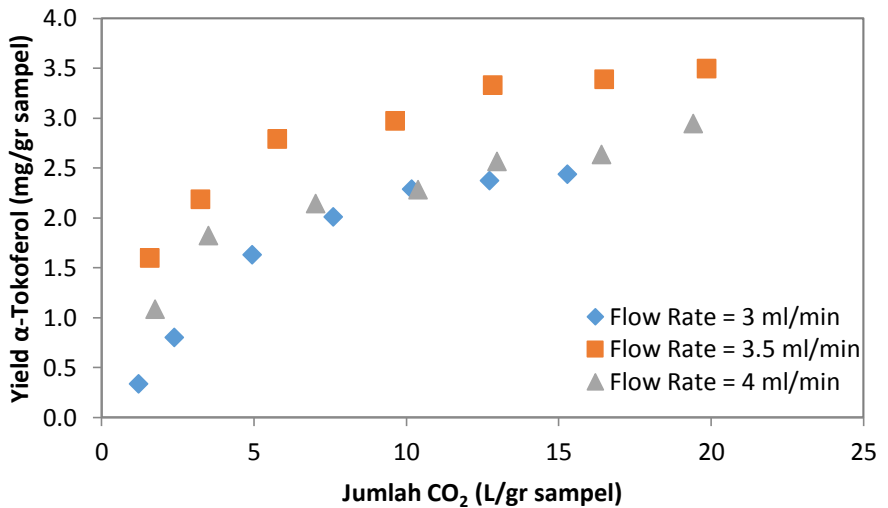
Pengaruh *flow rate* CO<sub>2</sub> terhadap proses ekstraksi dipelajari pada tekanan konstan sebesar 30 MPa dan temperatur konstan sebesar 80°C. Untuk mempelajari pengaruh *flow rate* CO<sub>2</sub> dalam proses ekstraksi, maka *flow rate* CO<sub>2</sub> divariasikan sebesar 3, 3,5 dan 4 ml/min.



(a)



(b)



(c)

**Gambar IV.4** Pengaruh *Flow Rate* CO<sub>2</sub> Terhadap Yield Minyak, β-Karoten, dan α-Tokoferol pada Kondisi Operasi : P = 30 MPa dan T = 80°C; (a) Yield Minyak, (b) Yield β-Karoten, dan (c) Yield α-Tokoferol

Pengaruh *flow rate* CO<sub>2</sub> terhadap jalannya proses ekstraksi ditunjukkan pada Gambar IV.4. *Flow rate* CO<sub>2</sub> dalam satuan ml/menit menunjukkan laju alir CO<sub>2</sub> yang masuk ke dalam sistem, dimana CO<sub>2</sub> yang masuk dalam sistem berfase liquid. Sementara jumlah CO<sub>2</sub> dalam satuan liter/gr sampel menunjukkan banyaknya jumlah CO<sub>2</sub> yang digunakan untuk mengekstrak 1 gr sampel, dimana CO<sub>2</sub> diukur setelah keluar dari sistem dalam fase gas. Dari Gambar IV.4(a) terlihat bahwa perubahan *flow rate* CO<sub>2</sub> tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap yield minyak yang diperoleh. Kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> hanya sedikit meningkatkan yield minyak yang terekstrak. Dari gambar tersebut

dapat dilihat pada saat waktu ekstraksi dimulai hingga waktu ekstraksi mencapai 60 menit, terjadi peningkatan yield minyak saat *flow rate* CO<sub>2</sub> dinaikkan dari 3 ml/menit menjadi 3,5 ml/menit dan tidak terjadi perubahan signifikan saat *flow rate* CO<sub>2</sub> dinaikkan dari 3,5 ml/menit menjadi 4 ml/menit. Yield minyak yang diperoleh cenderung relatif konstan dari waktu ekstraksi 120 menit hingga mencapai 360 menit pada setiap *flow rate* CO<sub>2</sub>, dimana pada setiap *flow rate* CO<sub>2</sub> itu mencapai yield yang hampir sama pada akhir ekstraksi yaitu sekitar 0,056 – 0,059 gr/gr sampel. Hal ini disebabkan karena kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> akan meningkatkan jumlah molekul CO<sub>2</sub> yang berkontak dengan *solute*, sehingga interaksi intermolekular antara CO<sub>2</sub> dan *solute* akan meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan pelarutan *solute* dalam CO<sub>2</sub> (Machmudah dkk, 2011). Disisi lain, kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> akan menurunkan waktu tinggal *solvent* CO<sub>2</sub> dalam kolom ekstraktor yang mengakibatkan waktu kontak antara *solvent* CO<sub>2</sub> dan *solute* semakin kecil. Dari alasan yang bertolak belakang tersebut, dapat diindikasikan bahwa perubahan *flow rate* CO<sub>2</sub> tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap jalannya proses ekstraksi. Selain itu, pengaruh *flow rate* CO<sub>2</sub> terhadap yield minyak pada proses ekstraksi dibatasi oleh nilai kelarutan/solubilitas minyak dalam CO<sub>2</sub> superkritis. Jumlah minyak yang terlarut akan tetap sama, berapa pun jumlah CO<sub>2</sub> yang digunakan selama proses ekstraksi, karena nilai kelarutan minyak yang tetap pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu.

Fenomena yang serupa terlihat pada Gambar IV.4(b) dimana yield  $\beta$ -karoten tidak mengalami perubahan signifikan terhadap perubahan *flow rate* CO<sub>2</sub>. Kandungan  $\beta$ -karoten terbesar yaitu 0,398 mg/gr sampel pada *flow rate* CO<sub>2</sub> 4 ml/menit. Fenomena sedikit berbeda dapat dilihat pada Gambar IV.4(c). Yield  $\alpha$ -tokoferol akan meningkat dengan kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> dari 3 ml/menit ke 3,5 ml/menit, tetapi yield  $\alpha$ -tokoferol sedikit mengalami penurunan dengan kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> dari 3,5 ml/menit ke 4 ml/menit. Hal tersebut dapat terjadi karena ketika *flow rate* CO<sub>2</sub> dinaikkan, maka *mass transfer resistance* akan

menurun dan  $\alpha$ -tokoferol akan terlarut sempurna dalam *solvent* atau dapat dikatakan *solvent* telah jenuh, sehingga kondisi equilibrium akan tercapai dan didapatkan proses ekstraksi maksimum. Akan tetapi, kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> lebih lanjut akan menyebabkan hilangnya kondisi equilibrium yang telah tercapai, dan *solvent* tidak akan jenuh walaupun dengan laju transfer massa yang tinggi (Ab Rahman dkk, 2011). Kandungan  $\alpha$ -tokoferol terbesar yaitu 3,491 mg/ gr sampel pada *flow rate* CO<sub>2</sub> 3,5 ml/menit.

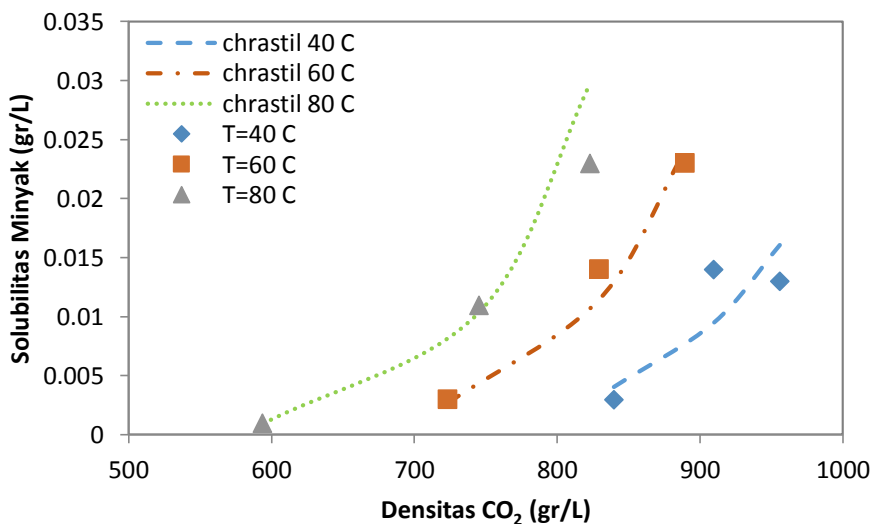
Dari Gambar IV.4(b) dapat dilihat bahwa pada jumlah CO<sub>2</sub> yang sama yaitu sekitar 10 L/gr sampel, didapatkan yield  $\beta$ -karoten yang hampir sama pada setiap variabel *flow rate* CO<sub>2</sub> yang berbeda. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya batas kelarutan dari senyawa  $\beta$ -karoten dalam CO<sub>2</sub> superkritis. Namun pada jumlah CO<sub>2</sub> sekitar 2 sampai 5 L/gr sampel, didapatkan yield  $\beta$ -karoten yang berbeda pada setiap variabel *flow rate* CO<sub>2</sub> yang berbeda pula. Hal tersebut terjadi karena adanya pengaruh tahanan antar partikel ampas kelapa sawit, dimana tahanan antar partikel ini akan mempengaruhi transfer massa dari solute yang ada pada ampas kelapa sawit ke dalam solvent. Fenomena yang serupa juga terjadi pada yield  $\alpha$ -tokoferol yang dapat dilihat pada Gambar IV.4(c).

Pada Gambar IV.4(a) dapat dilihat bahwa pada *flow rate* CO<sub>2</sub> 3 ml/menit, yield minyak terus mengalami kenaikan dari sejak ekstraksi dilakukan hingga waktu ekstraksi mencapai 120 menit, lalu cenderung relatif konstan dari waktu ekstraksi 120 menit hingga akhir ekstraksi saat 360 menit. Pada *flow rate* CO<sub>2</sub> 3,5 dan 4 ml/menit, terlihat bahwa yield minyak mengalami kenaikan dari waktu ekstraksi dimulai hingga waktu ekstraksi mencapai 60 menit, lalu cenderung relatif konstan dari waktu ekstraksi 60 menit hingga waktu akhir ekstraksi (360 menit). Meskipun tidak berpengaruh signifikan terhadap yield minyak secara keseluruhan, kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> dapat mempersingkat waktu ekstraksi (Wei dkk, 2005). Untuk hasil optimum dalam mengekstrak senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dari 1 gram

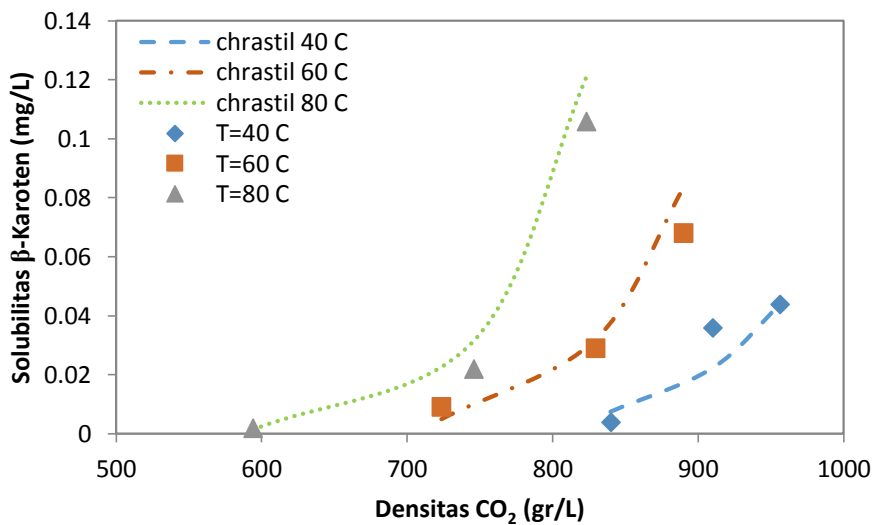
sampel ampas kelapa sawit, dibutuhkan CO<sub>2</sub> sebanyak 8 L untuk *flow rate* CO<sub>2</sub> sebesar 3 ml/menit, sedangkan pada *flow rate* CO<sub>2</sub> sebesar 3,5 dan 4 ml/menit dibutuhkan CO<sub>2</sub> sebanyak 6 -7 L.

#### IV.4 Solubilitas Minyak, $\beta$ -Karoten, dan $\alpha$ -Tokoferol dalam Karbondioksida Superkritis

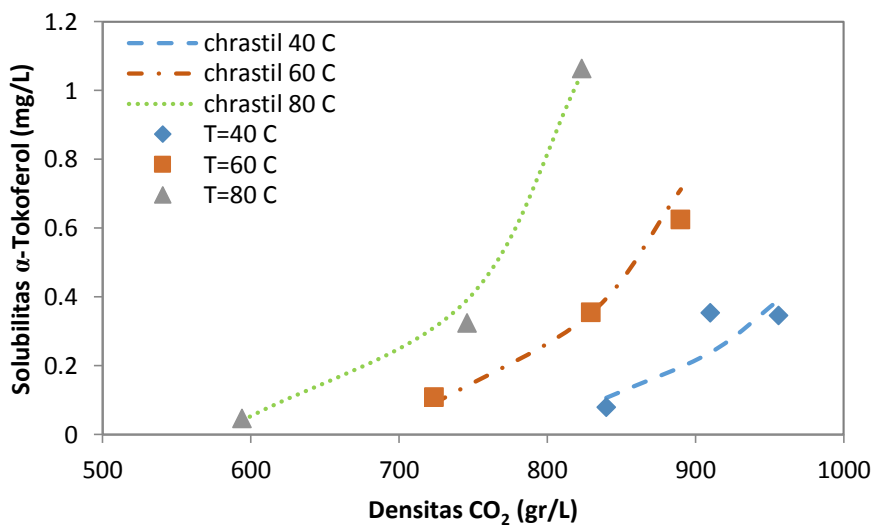
Dalam penelitian ini dipelajari solubilitas atau kelarutan dari minyak, serta senyawa  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol dalam CO<sub>2</sub> superkritis. Gambar IV.5 menunjukkan hubungan antara solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dengan densitas CO<sub>2</sub> superkritis pada *range* temperatur 40°C hingga 80°C dan tekanan 20 MPa hingga 40 MPa.



(a)



(b)



(c)

**Gambar IV.5** Solubilitas Minyak,  $\beta$ -Karoten, dan  $\alpha$ -Tokoferol dalam  $\text{CO}_2$  Superkritis dengan Korelasi Menggunakan Persamaan Chrastil pada Kondisi Operasi :  $P = 20, 30, \text{ dan } 40 \text{ MPa}$ ;  $T = 40, 60, \text{ dan } 80^\circ\text{C}$ ; dan  $\text{CO}_2 \text{ Flow Rate}$  Konstan =  $3 \text{ ml/menit}$ ; (a) Minyak, (b)  $\beta$ -Karoten, dan (c)  $\alpha$ -Tokoferol

Solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dalam  $\text{CO}_2$  superkritis diperoleh dengan cara mengambil slope awal dari grafik jumlah  $\text{CO}_2$  (L/gr sampel) vs yield minyak (gr/gr sampel) atau jumlah  $\text{CO}_2$  (L/gr sampel) vs yield  $\beta$ -karoten atau  $\alpha$ -tokoferol (mg/gr sampel), seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.2(b) dan (c). Dari Gambar IV.2(b) dan (c) diambil slope terbesar untuk mengetahui solubilitas dari  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol, dimana pada tekanan operasi 30 dan 40 MPa diambil slope dari saat ekstraksi dimulai sampai waktu ekstraksi selama 60 menit. Sementara untuk tekanan operasi 20 MPa diambil slope dari saat ekstraksi dimulai hingga waktu ekstraksi mencapai 360 menit.

Pada Gambar IV.5 dapat dilihat bahwa pada temperatur konstan, solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dalam  $\text{CO}_2$  superkritis cenderung mengalami kenaikan dengan meningkatnya densitas  $\text{CO}_2$ . Kenaikan densitas  $\text{CO}_2$  menunjukkan bertambahnya jumlah  $\text{CO}_2$  per satuan volume, yang menyebabkan semakin bertambahnya molekul  $\text{CO}_2$  untuk melarutkan minyak, maupun  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol yang terkandung di dalam minyak, sehingga solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dalam  $\text{CO}_2$  superkritis akan meningkat. Dari Gambar IV.5 juga dapat terlihat bahwa solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol cenderung meningkat dengan kenaikan temperatur pada densitas konstan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa efek kenaikan *solute vapor pressure* dengan meningkatnya temperatur memiliki pengaruh yang dominan terhadap solubilitas *solute* dalam  $\text{CO}_2$  superkritis pada densitas  $\text{CO}_2$  superkritis konstan. Hasil perhitungan solubilitas minyak,  $\beta$ -karoten, dan  $\alpha$ -tokoferol dalam  $\text{CO}_2$  superkritis dapat dilihat pada Tabel IV.1.



**Tabel IV.1** Solubilitas Minyak,  $\beta$ -Karoten, dan  $\alpha$ -Tokoferol  
Dalam CO<sub>2</sub> Superkritis

Temperatur ( °C)	Tekanan (MPa)	Densitas (gr/L)	Solubilitas		
			Minyak (gr/L)	$\beta$ - Karoten (mg/L)	$\alpha$ - Tokoferol (mg/L)
40	20	840	0.003	0.004	0.08
	30	910	0.014	0.036	0.354
	40	956	0.013	0.044	0.347
60	20	724	0.003	0.009	0.107
	30	830	0.014	0.029	0.354
	40	890	0.023	0.068	0.623
80	20	594	0.001	0.002	0.047
	30	746	0.011	0.022	0.325
	40	823	0.023	0.106	1.063

Solubilitas minyak yang diperoleh pada penelitian kali ini berada pada kisaran 0,001 sampai 0,023 gr/L CO<sub>2</sub>. Sementara solubilitas  $\beta$ -karoten sekitar 0,002 sampai 0,106 mg/L CO<sub>2</sub> dan solubilitas  $\alpha$ -tokoferol sekitar 0,047 sampai 1,063 mg/L CO<sub>2</sub>. Dari Tabel IV.1 dapat dilihat pula bahwa solubilitas  $\alpha$ -tokoferol dalam CO<sub>2</sub> superkritis lebih besar daripada senyawa  $\beta$ -karoten. Perbedaan solubilitas tersebut kemungkinan disebabkan karena adanya perbedaan berat molekul antara  $\alpha$ -tokoferol dengan  $\beta$ -karoten. Komponen penyusun minyak ampas kelapa sawit yang terbesar adalah trigliserida dengan berat molekul 847 gr/mol. Sementara komponen minor seperti  $\alpha$ -tokoferol dan  $\beta$ -karoten memiliki berat molekul berturut-turut sebesar 428 gr/mol dan 536 gr/mol. Dengan berat molekul yang lebih rendah,  $\alpha$ -tokoferol lebih mudah larut dalam CO<sub>2</sub> superkritis daripada  $\beta$ -karoten (Lau dkk, 2007).

Solubilitas hasil eksperimen kemudian dikorelasikan dengan persamaan Chrastil, dimana persamaan Chrastil adalah persamaan

semi-empirik yang menghubungkan antara solubilitas *solute*, densitas *solvent*, dan temperatur operasi. Persamaan Chrastil adalah persamaan yang sering digunakan untuk korelasi data solubilitas hasil eksperimen karena sederhana dan menunjukkan hasil korelasi yang bagus dengan data eksperimen, terutama untuk komponen-komponen yang memiliki kandungan lipid (Mukhopadhyay, 2000). Selain itu, kelebihan dari penggunaan persamaan Chrastil adalah model ini tidak membutuhkan data properti fisik dan kimia dari *solute*, yang pada umumnya data properti fisik dan kimia suatu senyawa tertentu sangat sulit untuk ditemukan dan sangat terbatas. Berikut ini merupakan persamaan Chrastil :

$$c = d^k \exp\left(\frac{a}{T} + b\right) \quad (4.1)$$

Persamaan (4.1) dapat dirubah menjadi bentuk :

$$\ln c = k \ln d + \left(\frac{a}{T} + b\right) \quad (4.2)$$

dimana  $c$  adalah solubilitas *solute* dalam *solvent* (gr/L),  $d$  adalah densitas *solvent* (gr/L),  $T$  adalah absolut temperatur (K),  $k$  menunjukkan jumlah rata – rata molekul gas yang membentuk *solvate complex*,  $a$  merupakan konstanta yang tergantung pada panas pelarutan, dan  $b$  tergantung pada berat molekul dan *melting points* dari *solute* dan *solvent*. Untuk mengestimasi korelasi data antara hasil eksperimen dengan perhitungan, digunakan persentase dari *average absolute deviation* (AAD%). Berikut ini adalah persamaan dari AAD% yang digunakan dalam perhitungan:

$$AAD\% = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{c^{exp} - c^{calc}}{c^{exp}} \right|_i \times 100$$

Harga parameter yang didapatkan dari perhitungan solubilitas menggunakan persamaan Chrastil menunjukkan hasil yang cukup sesuai dengan hasil eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.5. Tabel IV.2 menunjukkan harga konstanta  $k$ ,  $a$ , dan  $b$  yang diperoleh pada perhitungan solubilitas

menggunakan persamaan Chrastil dengan *range* persentase kesalahan AAD% sekitar 16% sampai 32%.

**Tabel IV.2** Harga Konstanta  $k$ ,  $a$ , dan  $b$  dari Perhitungan Solubilitas dengan Persamaan Chrastil

Solubilitas	Harga Konstanta Chrastil		
	$k$	$a$	$b$
Minyak	10.62	-6101.28	-57.52
$\beta$ -Karoten	13.61	-8441.53	-76.45
$\alpha$ -Tokoferol	9.97	-6845.06	-54.41

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Yield  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ - tokoferol cenderung akan meningkat dengan kenaikan tekanan pada temperatur konstan dan kenaikan temperatur pada tekanan konstan. Namun yield minyak akan menurun dengan kenaikan tekanan dari 30 MPa ke 40 MPa pada temperatur konstan 60°C dan dengan kenaikan temperatur dari 60°C ke 80°C pada tekanan konstan 30 MPa.
2. Perubahan *flow rate* CO<sub>2</sub> tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap yield minyak dan  $\beta$ -karoten. Namun yield  $\alpha$ - tokoferol akan meningkat dengan kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> dari 3 ml/min ke 3,5 ml/min dan mengalami penurunan dengan kenaikan *flow rate* CO<sub>2</sub> dari 3,5 ml/min ke 4 ml/min.
3. Yield minyak yang dapat terekstrak sekitar 0,026 – 0,064 gr/gr sampel dimana yield minyak terbesar diperoleh pada kondisi operasi tekanan 30 MPa, temperatur 60°C, dan *flow rate* CO<sub>2</sub> 3 ml/min.
4. Yield  $\beta$ -karoten yang dapat diperoleh sekitar 0,046 – 0,398 mg/gr sampel dengan yield  $\beta$ -karoten terbesar diperoleh pada kondisi operasi tekanan 30 MPa, temperatur 80°C, dan *flow rate* CO<sub>2</sub> 4 ml/min.
5. Yield  $\alpha$ - tokoferol yang dapat diperoleh sekitar 0,874 – 3,491 mg/gr sampel dengan yield  $\alpha$ - tokoferol terbesar diperoleh pada kondisi operasi tekanan 30 MPa, temperatur 80°C, *flow rate* CO<sub>2</sub> 3,5 ml/min.

6. Kelarutan atau solubilitas minyak dalam CO<sub>2</sub> superkritik sekitar 0,001 – 0,023 gr/L CO<sub>2</sub> dan diperoleh harga konstanta  $k$ ,  $a$ , dan  $b$  dari persamaan Chrastil berturut-turut sebesar 10,62; -6101,28; -57,52. Lalu solubilitas  $\beta$ -karoten dalam CO<sub>2</sub> superkritik sekitar 0,002 – 0,106 mg/L CO<sub>2</sub> dan harga konstanta  $k$ ,  $a$ , dan  $b$  yang diperoleh sebesar 13,61; -8441,53; -76,45. Solubilitas  $\alpha$ -tokoferol dalam CO<sub>2</sub> superkritik sekitar 0,047 – 1,063 mg/L CO<sub>2</sub> dan harga konstanta  $k$ ,  $a$ , dan  $b$  yang diperoleh sebesar 9,97; -6845,06; -54,41.

## V.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disarankan untuk peneliti selanjutnya:

1. Melakukan pencegahan terhadap degradasi  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol akibat adanya cahaya dan oksigen secara intensif dengan jalan melindungi peralatan ekstraksi secara maksimal.
2. Ekstrak yang diperoleh secepatnya dianalisa, sehingga kandungan dalam ekstrak yang diperoleh tidak rusak sebelum dianalisa.
3. Mengecek isi tabung CO<sub>2</sub> sebelum dilakukan eksperimen dan perlu memperbaiki *chiller* agar suhu pada *chiller* bisa lebih rendah dari 0°C.
4. Menganalisa komponen - komponen penyusun minyak ampas kelapa sawit selain kandungan  $\beta$ -karoten dan  $\alpha$ -tokoferol.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ab Rahman, N. N., Al-Rawi, S. S., Ibrahim, A. H., Ben Nama, M. M., & Ab Kadir, M. O., 2011. "Supercritical Carbon Dioxide Extraction of The Residual Oil from Palm Kernel Cake". *Journal of Food Engineering*, 108, 166-170.
- Arie, W., & Ibrahim. 2014. *Fraksinasi Minyak Nilam (Pogostemon Cablin Benth) Menggunakan Karbondioksida Superkritis*. Skripsi Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: tidak diterbitkan.
- Aszari, D. R., & Putri, K. A. P., 2015. *Ekstraksi Senyawa Fitokimia Dari Ampas Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Superkritis*. Skripsi Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: tidak diterbitkan.
- Davarnejad, R., Kassim, K. M., Zainal, A., & Sata, S. A., 2008. "Supercritical Fluid Extraction of  $\beta$ -carotene from Crude Palm Oil Using CO<sub>2</sub>". *Journal of Food Engineering*, 89, 472-478.
- Day, R. A., & Underwood, A. L., 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Keenam. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Departemen Pertanian. 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Jakarta: Deptan.
- Dvoyashkin, M., 2014. *Introduction to Supercritical Fluids*. [www.scribd.com/doc/203166806/dvoyashkin](http://www.scribd.com/doc/203166806/dvoyashkin) (Diakses tanggal: 26 Januari 2015, pukul 16.38 WIB)
- Geankoplis, C. J., 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles, Fourth Edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Grandinson, A. S., & Lewis, M. J., 1996. *Separation Processes Industries the Food and Biotechnology Industries*. Basel : Technomic Publishing Companies, Inc.
- Hariyadi, P., 2014. *Mengenal Minyak Sawit Dengan Beberapa Karakter Unggulnya*. Jakarta: Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia.

- Istianingrum, Trihandaru, S., & Martosupono, M., 2012. *Pengukuran Kandungan Provitamin A dari CPO (Crude Palm Oil) Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan Spektroskopi Nir (Near Infrared)*. Prosiding Seminar Nasional dan Pendidikan Sains VII UKSW, 28 – 35.
- Ketaren, S., 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F., 1991. *Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.2., 4th Edition*. New York : John Willey&Sons, Inc.
- Lau, H. L. N., Choo, Y. M., Ma, A. N., & Chuah, C. H., 2007. “Selective Extraction of Palm Carotene and Vitamin E from Fresh Palm-Pressed Mesocarp Fiber (*Elaeis guineensis*) Using Supercritical CO<sub>2</sub>”. *Journal of Food Engineering*, 84, 289–296.
- Lukito, P. A., 2013. *Pengaruh Kerusakan Buah Kelapa Sawit terhadap Kandungan Free Fatty Acid dan Rendemen CPO di Kebun Talisayan 1 Berau*. Skripsi Sarjana di Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor: tidak diterbitkan.
- Machmudah, S., Zakaria, Winardi, S., Sasaki, M., Goto, M., Kusumoto, N., & Hayakawa, K., 2011. “Lycopene Extraction from Tomato Peel By-Product Containing Tomato Seed Using Supercritical Carbon Dioxide”. *Journal of Food Engineering*, 108, 290-296.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P., 2005. *Unit Operations of Chemical Engineering, Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Mukhopadhyay, M., 2000. *Natural Extracts Using Carbon Dioxide*. Florida: CrC Press LLC.
- Palmer, M. V., & Ting, S. S. T., 1995. “Application for Supercritical Fluid Technology in Food Processing”. *Food Chemistry*, 52, 345–352.
- Pasaribu, N., 2004. *Minyak Buah Kelapa Sawit*. Medan: USU Repository.



- Permata, A., & Putri, N., 2014. *Fraksinansi Minyak Nilam (Pogostemon Cablin Benth) Menggunakan Karbondioksida Superkritis secara Counter Current*. Skripsi Sarjana di Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: tidak diterbitkan.
- Perry, R. H., & Green, D. W., 1997. *Perry's Chemical Engineers Handbook, Seventh Edition*. New York: New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Przygoda, K., & Wejnerowska, G., 2014. "Extraction of Tocopherol-Enriched Oils from Quinoa Seeds by Supercritical Fluid Extraction". *Journal of Industrial Crops and Products*, 63, 41-47.
- Rinawati, M., 2012. *Peningkatan Mutu Produksi Minyak Nilam Melalui Ekstraksi Menggunakan CO<sub>2</sub> Fluida Superkritis*. Skripsi Sarjana di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Kimia, Universitas Indonesia. Depok: tidak diterbitkan.
- Setiawan, A., 2014, 19 Juni. *Indonesia Jadi Penghasil Minyak Sawit Terbesar Dunia*. Antara. [www.antaraneews.com/berita/439887/indonesia-jadi-penghasil-minyak-sawit-terbesar-dunia](http://www.antaraneews.com/berita/439887/indonesia-jadi-penghasil-minyak-sawit-terbesar-dunia) (Diakses tanggal: 21 Januari 2015, pukul 02.02 WIB)
- Taylor, L. T., 1996. *Supercritical Fluid Extraction. Techniques in Analytical Chemistry*. John Willey & Sons, Inc.
- Tomita, K., Machmudah, S., Quitain, A. T., Sasaki, M., Fukuzato, R., & Goto, M., 2013. "Extraction and Solubility Evaluation of Functional Seed Oil in Supercritical Carbon Dioxide". *The Journal of Supercritical Fluids*, 79, 109-113.
- Toro, F. P. C., Carneiro, T. F., Rostagno, M. A., Petenate, A. J., Filho, F. M., & Meireles, M. A. A., 2014. "Integrated Supercritical Fluid Extraction and Subcritical Water Hydrolysis for The Recovery of Bioactive Compounds from Pressed Palm Fiber". *The Journal of Supercritical Fluids*, 93, 42-48.

Wei, P.W., May, C. Y., Ngan, M. A., & Hock, C. C., 2005. "Supercritical Fluid Extraction of Palm Carotenoids". *American Journal of Environmental Sciences I*, (4), 264–269.

[www.cdp.net/en-US/Programmes/Pages/forests-palm.aspx](http://www.cdp.net/en-US/Programmes/Pages/forests-palm.aspx)

(Diakses tanggal: 21 Januari 2015, pukul 01.58 WIB)

[www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&](http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&)

(Diakses tanggal: 21 Januari 2015, pukul 01.59 WIB)

[www.indonesia-investments.com/business/commodities/palm-oil/item166](http://www.indonesia-investments.com/business/commodities/palm-oil/item166) (Diakses tanggal: 21 Januari 2015, pukul 01.59 WIB)

[www.supercriticalfluids.com/company-information/about-supercritical-fluids](http://www.supercriticalfluids.com/company-information/about-supercritical-fluids) (Diakses tanggal: 23 Januari 2015, pukul 02.18 WIB)



## APPENDIKS

### 1. Perhitungan Yield

Data percobaan pada kondisi operasi ( $P = 30 \text{ Mpa}$  ;  $T = 60^\circ\text{C}$  ;  
Flow  $\text{CO}_2 = 3 \text{ ml /menit}$ )

- Berat starting material : 11,7312 gram
- Rate awal  $\text{CO}_2 = 276.5 \text{ L}$

Waktu (menit)	Berat ekstrak (mg)	Berat sampel analisa (mg)	Absorbance	
			Karoten	Tokoferol
30	149.5	4.8	0.364	0.229
60	223.8	10.2	0.835	0.457
120	267.9	7.7	2.107	0.599
180	39.4	0.8	0.275	0.082
240	23.2	0.8	0.335	0.098
300	47	2.3	0.750	0.199
360	1.4	0.1	0.131	0.053

Data yang digunakan :

- Waktu ekstraksi = 30 menit
- Berat ekstrak = 149.5 mg

Data yang diperoleh :

- Absorbansi karoten = 0.364
- Absorbansi tokoferol = 0.229

#### a. Menghitung Yield Total Ekstrak

$$\begin{aligned}\text{Yield total ekstrak} &= \frac{\text{Berat Ekstrak}}{\text{Berat Starting Material}} = \frac{0.1495 \text{ g}}{11.7312 \text{ g}} \\ &= 0.013 \text{ g ekstrak/g sampel}\end{aligned}$$

b. Menghitung Yield  $\beta$ -karoten

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi } \beta\text{-karoten} &= \text{Absorbansi} \times \text{slope kurva standar} \\ &= 0.364 \times 8.5573 \\ &= 3.12 \text{ ppm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat } \beta\text{ - karoten dalam ekstrak} &= \frac{\text{Berat Ekstrak} \times \text{konsentrasi } \beta\text{-karoten} \times \text{vol n-hexane} \times 1000}{\text{berat sampel analisa}} \\ &= \frac{149.5 \text{ mg} \times 3.12 \text{ ppm} \times 3 \text{ ml} \times 1000}{4.8 \text{ mg}} \\ &= 0.291 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Yield } \beta\text{ - karoten} &= \frac{\text{Berat } \beta\text{ - karoten dalam ekstrak}}{\text{Berat Starting Material}} \\ &= \frac{0.291 \text{ mg}}{11.7312 \text{ g}} \\ &= 0.025 \text{ mg } \beta\text{-karoten/ g sampel}\end{aligned}$$

c. Menghitung Yield Tokoferol

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi Tokoferol} &= \text{Absorbansi} \times \text{slope kurva standar} \\ &= 0.229 \times 176.34 \\ &= 40.28 \text{ ppm}\end{aligned}$$

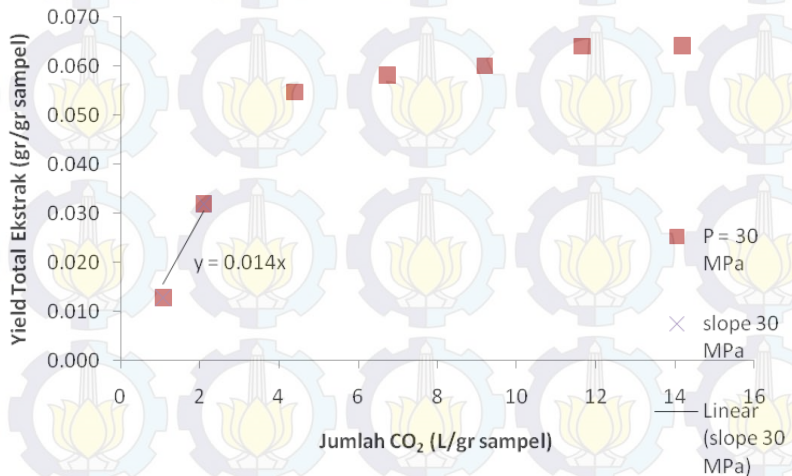
$$\begin{aligned}\text{Berat Tokoferol dalam ekstrak} &= \frac{\text{Berat Ekstrak} \times \text{konsentrasi tokoferol} \times \text{vol n-hexane} \times 1000}{\text{berat sampel analisa}} \\ &= \frac{149.5 \text{ mg} \times 40.28 \text{ ppm} \times 3 \text{ ml} \times 1000}{4.8 \text{ mg}} \\ &= 3.764 \text{ mg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Yield Tokoferol} &= \frac{\text{Berat Tokoferol dalam ekstrak}}{\text{Berat Starting Material}} \\ &= \frac{3.764 \text{ mg}}{11.7312 \text{ g}} \\ &= 0.321 \text{ mg Tokoferol/ g sampel}\end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Solubilitas

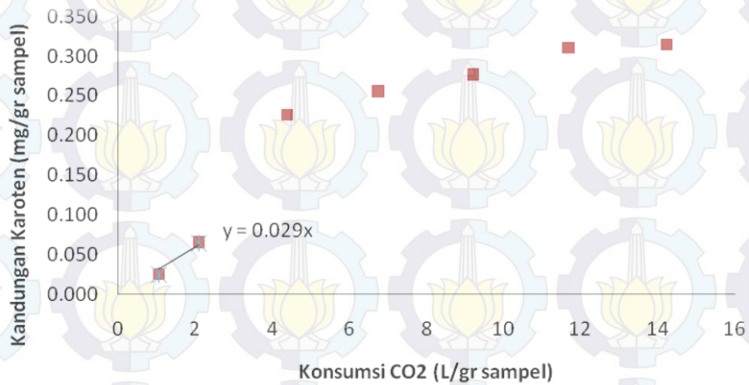
Berikut ini adalah data percobaan pada kondisi operasi ( $P = 30$  Mpa ;  $T = 60^{\circ}\text{C}$  ; Flow  $\text{CO}_2 = 3$  ml /menit). Dari data percobaan ini, diambil slope tertinggi untuk menentukan solubilitas.

### a. Solubilitas Total Ekstrak

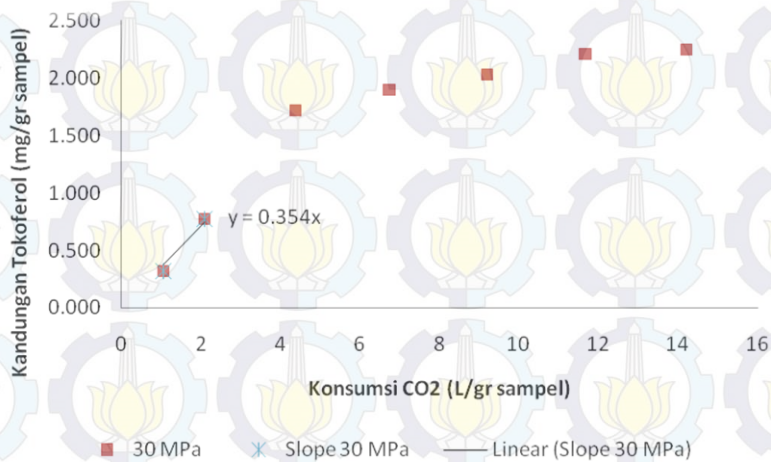




### b. Solubilitas $\beta$ -karoten



### c. Solubilitas Tokoferol



### 3. Perhitungan Solubilitas dengan Persamaan Chrastil

Berikut ini adalah data dan hasil perhitungan pada kondisi tekanan ( $P = 20 \text{ MPa}$  ;  $30 \text{ MPa}$  ;  $40 \text{ MPa}$ ) dan temperatur ( $T = 40^\circ\text{C}$  ;  $60^\circ\text{C}$  ;  $80^\circ\text{C}$ ) dengan flow  $\text{CO}_2$  sebesar  $3 \text{ ml/menit}$

Temperatur ( $^\circ\text{K}$ )	Tekanan (MPa)	Densitas (gr/L)	Solubilitas $\alpha$ -Tokoferol (gr/L)	k	$\ln C_{\text{calc}} \alpha\text{-Tokoferol}$	Diff	Solubilitas Chrastil $\alpha$ -Tokoferol (mg/L)
313	20	839.81	0.00008	12	-9.140	0.086	0.107
	30	909.89	0.000354		-8.341	0.156	0.239
	40	956.07	0.000347		-7.847	0.014	0.391
333	20	723.68	0.000107	8.542	-9.311	0.028	0.090
	30	829.71	0.000354		-7.947	0.000	0.354
	40	890.14	0.000623		-7.246	0.018	0.713
353	20	593.89	0.000047	9.37	-10.117	0.023	0.040
	30	745.61	0.000325		-7.848	0.034	0.390
	40	823.16	0.001063		-6.862	0.000	1.047

#### a. Menghitung densitas $\text{CO}_2$

Perhitungan densitas dilakukan dengan menggunakan program EOS untuk karbondioksida. Program ini mengacu kepada persamaan span wagner. Dengan memasukkan kondisi operasi tekanan dan temperatur maka akan diperoleh densitas dari  $\text{CO}_2$  pada kondisi tersebut.

EOS-SCx 0.2w / Equations of State for H2O, MeOH, CO2

Select Fluid  
☐ Water ☐ Methanol ☒ CO2

Calculate Make Tables About...

Saturation Properties for T

T = 313.15 K

Select the input parameter  
☒ P = 20 MPa ☐ rho = 839.81212 kg / m3

Set CP rho<->V

P-melt = 663.64877 MPa  
 P-satu = over Tc MPa  
 rho-gas = over Tc kg / m3  
 rho-liq = over Tc kg / m3

	Unit of Amount	mol	
Internal Energy U =	-11159.647	J / mol	Isobaric Expansion Coef. alpha = 0.0063123963 / K
Enthalpy H =	-10111.562	J / mol	Isothermal Compression Coef. kappa = 0.011121365 / MPa
Helmholtz Energy F =	10058.252	J / mol	Viscosity etha = 7.8316491E-5 Pa s
Gibbs Energy G =	11106.336	J / mol	Thermal Conductivity lambda = 0.095912545 W / (m K)
Entropy S =	-67.756341	J / (mol K)	Thermal Diffusivity Dth = 5.0671708E-8 m2 / s
Isochoric Spec. Heat Cv =	40.395795	J / (mol K)	Relative Dielectric Const eps =
Isobaric Spec. Heat Cp =	99.192109	J / (mol K)	Ion Product pKw =
Compression Factor Z =	0.40253844		Refractive Index n(l) = at 589 nm
Fugacity Coefficient F/P =	0.36268876		
Sound Velocity W =	512.74375	m / s	
Joule-Thomson Coef. m =	0.51601613	K / MPa	
Second Virial Coef. C2(T) =	-0.0024954327	m3 / kg	



Berikut adalah tabel thermodynamic properties of CO<sub>2</sub> menurut persamaan Span dan Wagner.

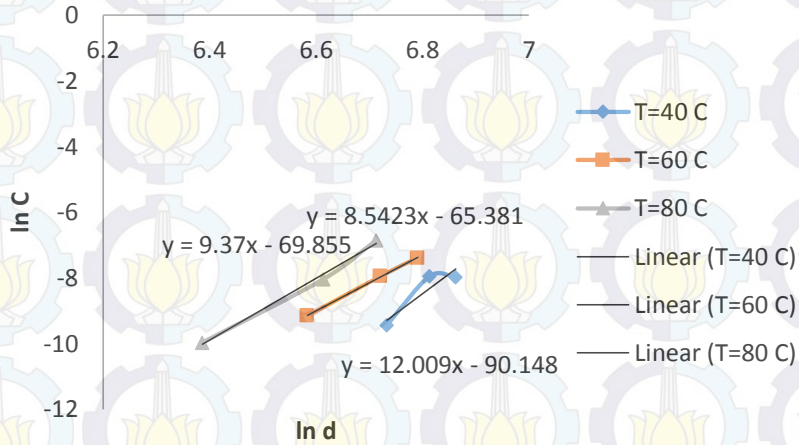
TABLE 35. Thermodynamic properties of carbon dioxide—Continued

Temperature (K)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Internal energy (kJ/kg)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg K)	$c_p$ (kJ/kg K)	$c_p$ (kJ/kg K)	Speed of sound (m/s)
20.00 MPa isobar							
320	802.33	-238.98	-214.05	-1.4900	0.91835	2.3324	476.13
325	773.46	-228.09	-202.24	-1.4533	0.91938	2.3952	450.59
330	743.30	-217.00	-190.10	-1.4165	0.92095	2.4610	426.44
335	711.96	-205.72	-177.63	-1.3788	0.92254	2.5246	404.10
340	679.68	-194.29	-164.87	-1.3410	0.92342	2.5778	384.01
345	646.90	-182.80	-151.88	-1.3030	0.92298	2.6122	366.45
350	614.18	-171.35	-138.79	-1.2654	0.92115	2.6207	351.52
360	551.54	-149.10	-112.84	-1.1923	0.91549	2.5511	329.54
370	496.14	-128.36	-88.048	-1.1243	0.90910	2.3976	316.94
380	449.68	-109.47	-64.990	-1.0628	0.90195	2.2129	311.16
390	411.63	-92.347	-43.760	-1.0077	0.89472	2.0369	309.69
400	380.50	-76.728	-24.165	-0.95804	0.88827	1.8868	310.75
410	354.77	-62.306	-5.9310	-0.91301	0.88304	1.7645	313.29
420	333.19	-48.819	11.205	-0.87171	0.87912	1.6664	316.66
430	314.83	-36.064	27.462	-0.83346	0.87643	1.5878	320.52
440	298.99	-23.881	43.011	-0.79771	0.87484	1.5244	324.64
450	285.14	-12.151	57.989	-0.76405	0.87419	1.4729	328.91
460	272.92	-0.78247	72.500	-0.73215	0.87434	1.4307	333.22
470	262.02	10.296	86.627	-0.70177	0.87517	1.3959	337.54
480	252.21	21.140	100.44	-0.67269	0.87657	1.3671	341.84
490	243.34	31.794	113.98	-0.64476	0.87845	1.3430	346.09
500	235.24	42.292	127.31	-0.61783	0.88074	1.3228	350.29
525	217.77	68.036	159.88	-0.55427	0.88779	1.2852	360.49
550	203.30	93.302	191.68	-0.49509	0.89618	1.2606	370.28
575	191.06	118.30	222.98	-0.43943	0.90540	1.2446	379.65
600	180.50	143.15	253.95	-0.38670	0.91508	1.2344	388.65
625	171.28	167.96	284.73	-0.33644	0.92499	1.2284	397.29
650	163.12	192.79	315.40	-0.28833	0.93496	1.2254	405.62
675	155.83	217.68	346.02	-0.24210	0.94487	1.2246	413.67
700	149.27	242.66	376.64	-0.19756	0.95465	1.2253	421.46
800	128.34	343.83	499.67	-0.03329	0.99149	1.2370	450.47
900	113.04	447.31	624.23	0.11340	1.0238	1.2545	476.80
1000	101.27	553.10	750.60	0.24652	1.0516	1.2727	501.16
1100	91.857	661.01	878.74	0.36864	1.0754	1.2898	523.98

b. Mencari nilai k

Membuat plot antara  $\ln C$  (solubilitas Tokerol) dengan  $\ln d$  (densitas CO<sub>2</sub>). Dari plot grafik dibawah ini, diperoleh slope yang merupakan nilai k. Kemudian nilai k tersebut akan dirata-rata sehingga menghasilkan satu nilai k yaitu 9.97.

## k Tokoferol



### c. Mencari konstanta Chrastil (a dan b)

Melakukan trial dengan nilai a dan b masing-masing adalah 0.5 dan 0.5. Kemudian nilai diff dijumlah. Selanjutnya mencari nilai a dan b menggunakan solver dengan cara meminimalkan jumlah diff dengan mengubah nilai a dan b trial. Diperoleh nilai a dan b yaitu -6845.06 dan -54.41

### d. Menghitung solubilitas ( $\ln C_{\text{cale}}$ )

$$\ln c = k \ln d + \left( \frac{a}{T} + b \right)$$

$$\ln c = 9.97 \ln 839.1 + \left( \frac{-6845.06}{313} + (-54.41) \right)$$

$$\ln c = -9.140 \text{ gr/L}$$

e. Menghitung diff

$$\begin{aligned}\text{diff} &= (\text{abs}(\ln c_{\text{calc}} - \ln c))^2 \\ \text{diff}_{\text{rata}} &= (\text{abs}(-9.140 + \ln 0.00008))^2 \\ \text{diff}_{\text{rata}} &= 0.086\end{aligned}$$

f. Menghitung solubilitas Chrastil

$$\begin{aligned}c &= d^k \exp\left(\frac{a}{T} + b\right) \\ c &= 839.1^{9.97} \exp\left(\frac{-6845.06}{313} - 54.41\right) \\ c &= 0.00010728 \text{ gr/L} \\ c &= 0.107 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

## RIWAYAT PENULIS



**Dimas Wisnudianto** lahir di Bogor, 12 Januari 1993. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Panaragan 1 Bogor Tahun 1999 – 2005, melanjutkan di SMPN 4 Bogor Tahun 2005 – 2008, dan SMAN 5 Bogor Tahun 2008 – 2011. Penulis menempuh kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Kimia Tahun 2011 - 2015. Penulis pernah menempuh kerja praktek di PT Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan, Indramayu pada tahun

2014. Di akhir masa studi, penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk pengerjaan Tugas Akhir. Dengan bimbingan dari Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng., penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir Pra Desain Pabrik Gula Kristal Putih Dari Tebu dan skripsi yang berjudul Ekstraksi Minyak dan Nutrisi dari Ampas Kelapa Sawit dengan Karbondioksida Superkritis.

### DATA PRIBADI

Nama : Dimas Wisnudianto  
Alamat : Jl. Kamojang No.17, Laladon Indah, Ciomas,  
Bogor  
No. Telepon : 081297052725  
E-mail : dimaswisnudianto@gmail.com

## RIWAYAT PENULIS



**Ragasatya Safrianda** lahir di Bengkulu, 4 September 1993. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Budi Mulia, SMP An – Nisaa', dan SMAN 28 Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan studi S1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011 - 2015. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan, Indramayu. Semasa mahasiswa penulis aktif di organisasi yaitu

Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia khususnya di bidang minat dan bakat. Penulis memilih Laboratorium Mekanika Fluida dan Pencampuran untuk pengerjaan Tugas Akhir. Dengan bimbingan dari Prof. Dr. Ir. Sugeng Winardi, M.Eng dan Dr. Siti Machmudah, S.T., M.Eng., penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir Pra Desain Pabrik Gula Kristal Putih Dari Tebu dan skripsi yang berjudul Ekstraksi Minyak dan Nutrisi dari Ampas Kelapa Sawit dengan Karbondioksida Superkritis.

### DATA PRIBADI

Nama : Ragasatya Safrianda  
No. Telepon : 085695456232  
E-mail : ragasafrianda@gmail.com